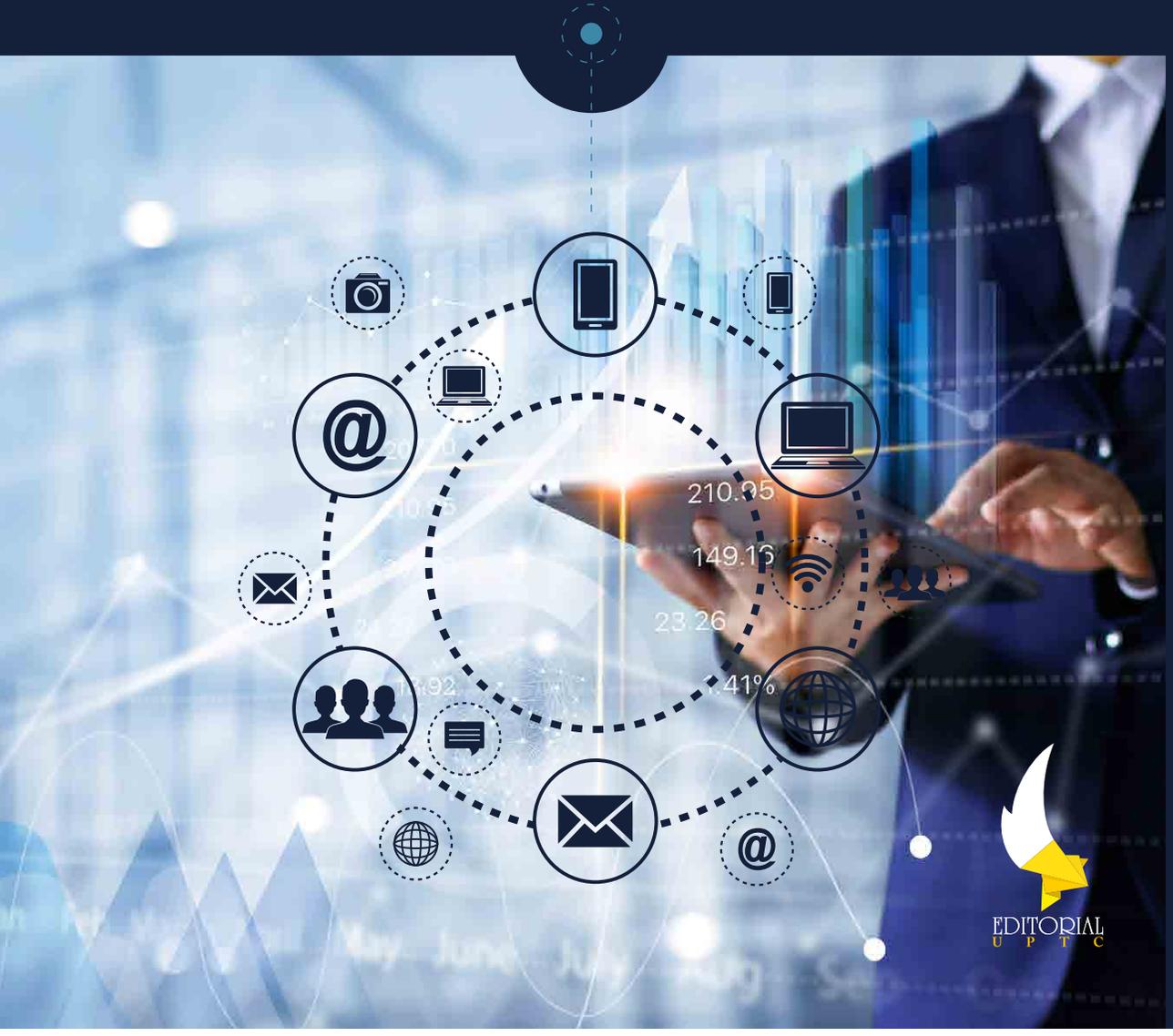


JORGE ANDRÉS SARMIENTO-ROJAS
(Compilador)

COLECCIÓN
INVESTIGACIÓN

EL IMPACTO DE LA CALIDAD EN EL ÉXITO DE LA GERENCIA DE PROYECTOS



EL IMPACTO DE LA CALIDAD EN EL ÉXITO DE LA GERENCIA DE PROYECTOS

JORGE ANDRÉS SARMIENTO-ROJAS
(Compilador)

UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA
2022



El impacto de la calidad en el éxito de la gerencia de proyectos / The quality impact on project management success / Sarmiento-Rojas, Jorge Andrés (Compilador). Tunja: Editorial UPTC, 2022. 272 p.

ISBN (impreso) 978-958-660-611-0

ISBN (ePub) 978-958-660-612-7

Incluye referencias bibliográficas

1. Calidad. 2. Gerencia de proyectos. 3. Desarrollo Sostenible. 4. Sistemas de Información Geográfica. 5. Innovación. 6. Optimización.

(Dewey 620 / 2) (Thema TN - Ingeniería civil, topografía y construcción)



Primera Edición, 2022

200 ejemplares (impresos)

El impacto de la calidad en el éxito de la gerencia de proyectos

The quality impact on project management success

ISBN 978-958-660-611-0

ISBN Digital 978-958-660-612-7

Colección de Investigación UPTC No. 241

Proceso de arbitraje doble ciego

Recepción: julio de 2021

Aprobación: noviembre de 2021

© Hernán Antonio González Urrego, 2022

© Milton Januario Rueda Varón, 2022

© Miguel Ángel Ariza, 2022

© Luz Marina Sánchez, 2022

© Luis Miguel Rosas Romero, 2022

© Carlos Gabriel Hernández Carrillo, 2022

© Nelson Beltrán Galvis, 2022

© William Fajardo-Moreno, 2022

© H. Mauricio Diez-Silva, 2022

© Luis Miguel Toloza Gordillo, 2022

© Jorge Andrés Sarmiento Rojas, 2022

© Fabián Güiza Pinzón, 2022

© Sandra Jennina Sánchez Perdomo, 2022

© Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2022

Editorial UPTC

Edificio Administrativo – Piso 4

Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá

comite.editorial@uptc.edu.co

www.uptc.edu.co

Rector, UPTC

Óscar Hernán Ramírez

Comité Editorial

Enrique Vera López, Ph. D.

Zaida Zarely Ojeda Pérez, Ph. D.

Yolima Bolívar Suárez, Mg.

Carlos Mauricio Moreno Téllez, Ph. D.

Pilar Jovanna Holguin Tovar, Mg.

Nelsy Rocío González Gutiérrez, Ph. D.

Manuel Humberto Restrepo Domínguez, Ph. D.

Óscar Pulido Cortés, Ph. D.

Edgar Nelson López López, Mg.

Editora en Jefe

Lida Esperanza Riscanevo Espitia, Ph. D.

Coordinadora Editorial

Andrea María Numpaque Acosta, Mg.

Corrección de Estilo

Daniel Esteban Alvarado Canaria

Sylvia Daniela Moreno Rodríguez

Imprenta

Búhos Editores Ltda.

Calle 57 No. 9-36

Tunja – Boyacá - Colombia

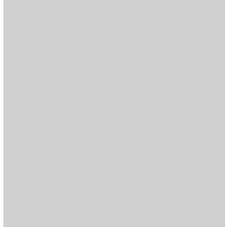
Libro financiado por la Dirección de Investigaciones de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 del 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Libro resultado de investigación con SGI 2841

Citar este libro / Cite this book:

Sarmiento-Rojas, J. (Comp.) (2022). *El impacto de la calidad en el éxito de la gerencia de proyectos*. Editorial UPTC.

doi: <https://doi.org/10.19053/9789586606110>

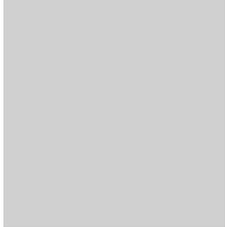


Resumen

La calidad, muchas veces definida como la implementación de normativas y sistemas en búsqueda de garantizar un propósito o idoneidad y simultáneamente satisfacer las expectativas de los interesados, se ha asentado como un atributo perceptivo, condicional y algo subjetivo, divisado de manera diferente por diferentes individuos. En muchos aspectos se relaciona con una visión ambigua y sin derivar a acciones que tiendan a formular interpretaciones más allá de un uso pragmático, enfocado simplemente en cumplir ciertas políticas y procedimientos subvencionados a meros requisitos sin visionar el fundamento alrededor de las capacidades que pueden alcanzarse en su implementación. No obstante, los actuales retos que demandan los interesados en ambientes con mayores requerimientos desde enfoques competitivos mediante el involucramiento de múltiples procedimientos, equipos, personal e inversiones, acogidos bajo el amparo de la calidad han considerado aspectos de difusión en un mundo con mayores nexos globales. En consecuencia, estas dinámicas han repercutido en las estructuras organizacionales y son cruciales en la adaptación de nuevos panoramas, al fortalecer el vínculo existente entre la ventaja competitiva y el rendimiento de proyectos y funcionamiento de las organizaciones, íntimamente relacionada con la gestión de calidad y permite la mejora de utilidades generales y el crecimiento organizacional. Esto proporciona una base sólida para las iniciativas de desarrollo empresarial, mediante el mejoramiento sistemático de productos y servicios que cumplan los requisitos demandados en conjunto con el aumento de capacidades para su satisfacción y el tratamiento de riesgos y oportunidades asociados al contexto y metas previamente planteadas. De modo que las posibilidades de observación, análisis y conclusión se incrementan en la medida en que el perfeccionamiento de procesos y servicios aumente. Lo cual impacta el alcance y capacidades gerenciales en proyectos con mayores complejidades y requerimientos en función de la confiabilidad, mantenimiento o sostenibilidad de los productos concebidos y materializados. Por lo tanto, el libro “El impacto de la calidad en el éxito de la gerencia de proyectos” compila diversas investigaciones relacionadas con la gestión de calidad, su impacto y definición del papel

en la gerencia de proyectos; permite conceptualizar, definir o informar la aplicación de diversas metodologías abordadas entorno a esta extensa y versátil temática mediante visiones y enfoques en investigaciones de alto impacto; e integra definiciones y formulaciones de herramientas (sistemas, procesos, etc.) necesarias para satisfacer las demandas identificadas e implementar como medio para brindar soluciones y suficiente confianza en el cumplimiento de requisitos y objetivos, con la medición sistemática, comparación de estándares y seguimiento de los procesos para configurar el cumplimiento de requisitos en calidad. Finalmente, se revisan todos los factores involucrados en la organización, a través del funcionamiento, ejecución y formulación; con el fin último de garantizar el cumplimiento de los objetivos e implementación de cambios notablemente significativos o de forma incremental, mediante la mejora continua de los procesos en gestión de calidad y gerencia de proyectos.

Palabras clave: Calidad; gerencia de proyectos; desarrollo sostenible; sistemas de información geográfica; innovación; optimización.



Abstract

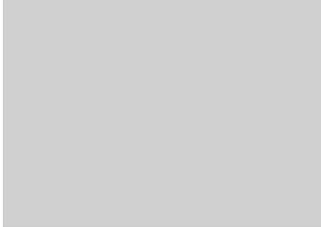
Quality, often defined as the regulations and systems implementation beholding for guaranteeing a purpose or suitability and simultaneously satisfying stakeholders' expectations, has become established as a perceptive, conditional, and somewhat subjective attribute, viewed diversely by individuals. In varied aspects, it is related to an ambiguous vision, without tending efforts to formulate interpretations not beyond a pragmatic use, focused mainly on complying with certain policies and procedures subsidized to mere requirements without envisioning the foundation around the capabilities that can be achieved in its implementation. However, the current challenges in environments with higher requirements from competitive approaches through the involvement of multiple procedures, equipment, personnel, and investments demanded by stakeholders and embraced by the quality has considered aspects of dispersion in a world with greater global linkages. Consequently, these dynamics have impacted organizational structures and are crucial in the adaptation of new scenarios, by strengthening the linkage between organizations' performance and competitive advantage, projects, and operations, intimately related to quality management, and allowing the improvement of overall profits and organizational growth.

The aforementioned provides a solid basis for business development initiatives, through the systematic improvement of products and services accomplishing requirements, in conjunction with, the increase of capabilities and the management of risks and opportunities associated with the context and goals set. Accordingly, the possibilities of observation, analysis, and conclusion growth as the improvement of processes and services increase impact the scope and management capabilities in projects with greater complexity and requirements in terms of reliability, maintenance, or sustainability of the products conceived and delivered.

Therefore, "The quality impact on project management success" book compiles diverse research related to quality management, its impact, and role definition in project management. This book has allowed the conceptualization, definition, or transmission of the application of diverse

methodologies based on extensive and versatile subject analysis through visions and approaches in high impact research; and also it integrates definitions and formulations of tools (systems, processes, etc.) necessary to satisfy the identified demands to provide solutions and sufficient confidence in the fulfillment of quality requirements and objectives, with the systematic measurement, comparison of standards and monitoring of processes to configure them. Finally, all the factors involved in the organization are reviewed, through the operation, execution, and formulation, ensuring compliance with the objectives and implementation of significant or incremental changes, through continuous improvement of processes in quality management and project management.

Keywords: Quality; project management; sustainable development; geographic information systems; innovation; optimization.



Contenido

PRESENTACIÓN	11
1. LA GESTIÓN DE PROYECTOS: APLICACIÓN EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN González Urrego, Hernán Antonio; Rueda Varón, Milton Januario	13
2. METODOLOGÍAS DE CALIDAD FUNDAMENTADAS EN HERRAMIENTAS DE MEJORA CONTINUA PARA OPTIMIZAR PROCESOS ACADÉMICOS Y ADMINISTRATIVOS Ariza, Miguel Ángel, Sánchez, Luz Marina	65
3. ANÁLISIS EN LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS MEDIANTE EVALUACIÓN ILI EN EL SUR-ORIENTE COLOMBIANO Rosas Romero, Luis Miguel; Hernández Carrillo, Carlos Gabriel; Beltrán Galvis, Nelson.....	123
4. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS COMO PREDICTOR DEL CUMPLIMIENTO DE LAS RESTRICCIONES DE CALIDAD EN ORGANIZACIONES DE GRAN TAMAÑO Fajardo-Moreno, William; Diez-Silva, H. Mauricio; Rueda Varón, Milton	167
5. EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE CALIDAD EN EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE TUNJA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Tolosa Gordillo, Luis Miguel; Hernández Carrillo, Carlos Gabriel; Sarmiento-Rojas Jorge Andrés; Güiza Pinzón Fabián.....	197
6. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE USUARIOS INNOVADORES QUE APORTAN A LA CALIDAD DE PROYECTOS Sánchez Perdomo, Sandra Jennina	241



Presentación

La calidad, muchas veces definida como la implementación de normativas y sistemas en búsqueda de garantizar un propósito o idoneidad y simultáneamente satisfacer las expectativas de los interesados, se ha asentado como un atributo perceptivo, condicional y algo subjetivo, divisado de manera diferente por diferentes individuos. En muchos aspectos se relaciona con una visión ambigua y sin derivar a acciones que tiendan a formular interpretaciones más allá de un uso pragmático, enfocado simplemente en cumplir ciertas políticas y procedimientos subvencionados a meros requisitos sin visionar el fundamento alrededor de las capacidades que pueden alcanzarse en su implementación. No obstante, los actuales retos que demandan los interesados en ambientes con mayores requerimientos desde enfoques competitivos mediante el involucramiento de múltiples procedimientos, equipos, personal e inversiones, acogidos bajo el amparo de la calidad han considerado aspectos de difusión en un mundo con mayores nexos globales. En consecuencia, estas dinámicas han repercutido en las estructuras organizacionales y son cruciales en la adaptación de nuevos panoramas, al fortalecer el vínculo existente entre la ventaja competitiva y el rendimiento de proyectos y funcionamiento de las organizaciones, íntimamente relacionada con la gestión de calidad y permite la mejora de utilidades generales y el crecimiento organizacional. Esto proporciona una base sólida para las iniciativas de desarrollo empresarial, mediante el mejoramiento sistemático de productos y servicios que cumplan los requisitos demandados en conjunto con el aumento de capacidades para su satisfacción y el tratamiento de riesgos y oportunidades asociados al contexto y metas previamente planteadas. De modo que las posibilidades de observación, análisis y conclusión se incrementan en la medida en que el perfeccionamiento de procesos y servicios aumente. Lo cual impacta el alcance y capacidades gerenciales en proyectos con mayores complejidades y requerimientos en función de la confiabilidad, mantenimiento o sostenibilidad de los productos concebidos y materializados. Por lo tanto, el libro “El impacto de la calidad en el éxito de la gerencia de proyectos” compila diversas investigaciones relacionadas con la gestión de calidad, su impacto y definición del papel

en la gerencia de proyectos; permite conceptualizar, definir o informar la aplicación de diversas metodologías abordadas entorno a esta extensa y versátil temática mediante visiones y enfoques en investigaciones de alto impacto; e integra definiciones y formulaciones de herramientas (sistemas, procesos, etc.) necesarias para satisfacer las demandas identificadas e implementar como medio para brindar soluciones y suficiente confianza en el cumplimiento de requisitos y objetivos, con la medición sistemática, comparación de estándares y seguimiento de los procesos para configurar el cumplimiento de requisitos en calidad. Finalmente, se revisan todos los factores involucrados en la organización, a través del funcionamiento, ejecución y formulación; con el fin último de garantizar el cumplimiento de los objetivos e implementación de cambios notablemente significativos o de forma incremental, mediante la mejora continua de los procesos en gestión de calidad y gerencia de proyectos.

Atentamente,

Investigadores del libro

LA GESTIÓN DE PROYECTOS: APLICACIÓN EN EL ÁMBITO DE LA CONSTRUCCIÓN

González Urrego, Hernán Antonio¹; Rueda Varón, Milton Januario²
.....

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se identifican los procesos de la gestión de proyectos con aplicación en el sector de la construcción, la relación que existe entre indicadores de desarrollo sostenible o *SDIs – Sustainable Development Indicators* con el concepto de calidad.

La definición del alcance en un proyecto tiene el propósito de determinar la información que se necesita para ejecutar el trabajo. Esto le permite al equipo del proyecto acordar los instrumentos de medición y control durante la planificación con el fin de proveer seguimiento a la consecución de los objetivos durante la ejecución. Por lo anterior, si el logro de metas vinculadas a la sostenibilidad se establece en la definición del alcance, es posible medir su realización mediante las herramientas de monitoreo y control incorporadas en la gestión de la calidad del proyecto.

Integrar indicadores de desarrollo sostenible en los procesos de la gestión de proyectos asegura que, tanto los procesos definidos en los planes subsidiarios como el producto del proyecto, estén basados en una visión holística de la sostenibilidad. Incluye evaluar el impacto del proyecto en colaboración con los *stakeholders* sobre las dimensiones social, económica y ambiental del desarrollo sostenible. Este propósito inicia con el establecimiento de la calidad requerida, mediante la inclusión de las especificaciones y los requisitos de sostenibilidad con respecto al producto del proyecto y los procesos a ejecutar. Por lo tanto, esto involucra procedimientos que hacen parte de la definición del alcance.

1 Facultad de Ingeniería, Universidad EAN. hgonzale3342@universidadean.edu.co

2 Facultad de Ingeniería, Universidad EAN. mramon.d@universidadean.edu.co

Las métricas de calidad son los instrumentos a través de los cuales se miden tanto los datos de desempeño como los entregables del proyecto, para determinar las desviaciones en cuanto a los procesos y el desarrollo del producto. En razón de esto, si en el alcance del proyecto se integran indicadores de sostenibilidad, su desempeño se puede medir mediante los procesos de la gestión de calidad. Es así como este capítulo se enfoca en determinar las relaciones que existen entre indicadores de desarrollo sostenible (variables de la categoría 1 de estudio) con indicadores clave de rendimiento o *KPIs - Key Performance Indicators* de calidad (variables de la categoría 2).

El establecimiento de las relaciones entre las variables de estudio se realizó con base en una consulta de expertos mediante un cuestionario de investigación constituido por preguntas cerradas. El análisis de la información se realizó a través de estadística descriptiva y el método de análisis factorial exploratorio.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Revisión de la literatura

2.1.1 Definición de la calidad en el sector de la construcción

Según Arditi & Gunaydin (1997), la calidad puede ser definida como el cumplimiento de los requisitos legales, estéticos y funcionales de un proyecto. Asimismo, los requisitos pueden ser establecidos con respecto al producto final o también referirse a la descripción detallada del trabajo a realizar. Desde esta perspectiva la calidad se alcanza, si los requisitos establecidos son adecuados y si el proyecto completado los cumple.

Por otra parte, se puede diferenciar entre la calidad del producto relacionada a sus características físicas y la calidad de los procesos vinculada a las actividades que lo generan, sobre las que también se basa la aceptación o no de los entregables, resultado del proyecto (Nagasaku & Oda, 1965). Arditi & Gunaydin (1997) determinan que la calidad del producto en el ámbito de la construcción puede referirse a la calidad de los materiales, los equipos y la tecnología que se deben incorporar en la edificación. Además, la calidad de los procesos alude a alcanzar la calidad en el modo en el que se organizan y se gestionan las actividades del proyecto en tres fases: planificación, ejecución y cierre.

En el texto *Quality in the constructed project* (Ferguson & Clayton, 2020), se definen los conceptos de *Quality Assurance* (QA) y *Quality Control* (QC). El QA es la programación de actividades con la calidad requerida para realizar el trabajo al cumplir con los requisitos del proyecto. Implica el establecimiento de parámetros, relacionados con las políticas, los procesos, los estándares, la formación del equipo y el establecimiento de directrices, de manera sistemática para alcanzar la calidad requerida. En este caso, tanto el diseñador como el constructor del proyecto son responsables de establecer la programación de actividades para cada uno, de manera específica. Por otro lado, el QC es la implementación de la QA, mediante sus actividades de seguimiento y control. Para Juran (2020), un QC efectivo reduce la posibilidad de cambios, errores y omisiones, que a su vez resultan en menos conflictos y disputas legales.

El *Total Quality Management* (TQM) corresponde a los esfuerzos que emprenden las organizaciones para mejorar el rendimiento de sus acciones, con el propósito de alcanzar la calidad requerida. La TQM se enfoca en el mejoramiento de los procesos; el fortalecimiento de la atención a los requisitos relacionados con las expectativas de los *stakeholders*; el entrenamiento y educación del equipo de proyecto para mejorar la ejecución de actividades; y la generación del producto, libre de defectos (Arditi & Gunaydin, 1997). Hoyle (2020) determina que los estándares ISO (*International Organization for Standardization*) son el punto de partida ideal para definir la TQM en las organizaciones y que, dentro de las ISO, las series ISO 9000, son las que están fuertemente vinculadas al producto del proyecto, con respecto a su diseño, elaboración, prueba y entrega.

Las ISO 9000 se dividen en dos tipos de estándares: los dirigidos al aseguramiento de la calidad (QA) y los que están dirigidos a la gestión de la calidad. Los estándares de aseguramiento de la calidad son diseñados para propósitos contractuales y de evaluación de proyectos. Entre ellos se encuentran las ISO 9001, 9002 y 9003. Además, los estándares de gestión de la calidad están diseñados para guiar el desarrollo e implementación de sistemas de calidad en las organizaciones, entre los que está la ISO 9004 y para el caso específico de la gestión de proyectos, la ISO 21500.

Tanto para Crosby como para Juran, el costo de la calidad es la herramienta que fundamenta las mediciones de calidad. Asimismo, es usada para: rastrear los procesos de la TQM; seleccionar los puntos de mejora en la calidad en los proyectos; y proveer justificaciones a

los *stakeholders* acerca de las mejoras requeridas. A su vez, el costo de calidad está conformado por los costos de prevención, evaluación y desviación. El de prevención está conformado por las actividades implementadas para evitar desviaciones y errores. El de evaluación es en el que se incurre con la ejecución de actividades para determinar si el producto o los procesos del proyecto están conforme a los requisitos establecidos (Arditi & Gunaydin, 1997).

En el ámbito de la construcción, los costos de revisar y auditar los diseños, modificar los procedimientos de trabajo y vincular al proyecto estándares de calidad, pueden ser considerados como costos de prevención. Mientras que las inspecciones y las actividades de seguimiento y control son un ejemplo de costos de evaluación. Por el contrario, los costos de desviación son el resultado de no cumplir con los requerimientos. Algunos ejemplos son las demoliciones o deconstrucción de parte del avance de la obra, repetición del trabajo realizado, fallas en el cumplimiento de las especificaciones, errores en las adquisiciones y los suministros y reducción de beneficios financieros por las no conformidades (Burati, Farrington, & Ledbetter, 1992).

Con relación a lo anterior, Silvius (2015) explica la consideración de la calidad como área de conocimiento desde tres estándares de gestión de proyectos. En el PMBOK®, los requisitos, tanto del producto como de sus entregables parciales y los procesos del proyecto, son formulados por solicitud de las organizaciones clientes y promotoras. Por lo que la calidad tiene un papel fundamental en la medición del logro de los objetivos del proyecto, tanto en el producto final como en los procesos. En PRINCE2® se definen las especificaciones, los requisitos, el alcance y la calidad con relación al producto del proyecto y sus entregables parciales. Finalmente, la ISO 21500 vincula todos los componentes anteriores con los objetivos estratégicos de las organizaciones.

2.1.2 Desarrollo sostenible en la gestión de proyectos

Para Silvius & Schipper (2014), la definición que más se cita acerca del significado de desarrollo sostenible es la creada por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y el Desarrollo, así: “Es el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades” (Brundtland, 1987, p. 15). Además, Kivila, Martinsuo, & Vuorinen (2017) establecen

que hay un consenso en el que los aspectos de la sostenibilidad se pueden clasificar en: económicos, sociales y ambientales.

Por otra parte, Marcelino-Sadaba, González-Jaen, & Pérez-Ezcurdia (2015) identifican 4 categorías relacionadas con el desarrollo sostenible en los proyectos: la sostenibilidad del producto, la sostenibilidad de los procesos, la sostenibilidad de la organización y la sostenibilidad de los individuos. En otro enfoque, Gareis et al. (2013) definen dos ámbitos de la sostenibilidad en los proyectos: la vinculada a los procesos o de la ejecución y la vinculada al producto, es decir, de los entregables del proyecto. Igualmente, Kivila, et al. (2017) infieren que al considerar que los procesos de desarrollo del producto del proyecto se planifican como parte de las actividades de ejecución, si los aspectos de la sostenibilidad del proyecto son incorporados en la planificación de las actividades, el producto del proyecto se impacta por la gestión de proyectos sostenible.

Acorde con lo anterior, Silvius & Schipper (2014, p. 79) definen la gestión de proyectos sostenibles en términos de las prácticas como: “Asegurar la rentabilidad, de modo justo, claro, seguro, ético y amigable con el medio ambiente durante la ejecución del proyecto, con el propósito de lograr un producto del proyecto, social y ambientalmente admisible durante todo su ciclo de vida”. A este respecto, es fundamental tener en cuenta la conclusión que desarrollan Simionescu & Silvius (2016, p. 458), en cuanto a la integración de la sostenibilidad en la gestión de proyectos al determinar que: “Los parámetros de la sostenibilidad del proyecto están más frecuentemente vinculados al producto y menos a los procesos”.

2.2 Aproximación teórica

2.2.1 Medición de indicadores de desarrollo sostenible por medio de métricas de calidad

Para Fageha & Aibinu (2014), el propósito de la definición del alcance en un proyecto es proveer la información que se necesita para realizar el trabajo. Así, el éxito durante la fase de ejecución del proyecto depende del nivel de esfuerzo que se realice durante la definición del alcance. Asimismo, le permite al equipo de proyecto determinar los instrumentos de medición y control en la planificación, para aplicarlos en la fase de ejecución del proyecto, con el propósito de dar seguimiento al logro

de los objetivos. Por lo tanto, si la consecución de metas relacionadas al desarrollo sostenible es incorporada en la definición del alcance, su cumplimiento se puede medir mediante las herramientas establecidas en la planificación y que hacen parte de la gestión de la calidad del proyecto (Arditi & Gunaydin, 1997).

La acción de integrar los principios de la sostenibilidad en la gestión de proyectos inicia con el establecimiento de la calidad requerida, mediante la definición de las especificaciones y los requisitos, con respecto al producto del proyecto, sus entregables parciales y los procesos a ejecutar (Silvius, 2015). Integración que también hace parte de la definición del alcance. Gareis et al. (2013) determinan que integrar la sostenibilidad en los procesos de la gestión de proyectos implica que la definición de los planes subsidiarios y el producto del proyecto estén basados en una visión holística de la sostenibilidad. Esto incluye la evaluación del impacto del proyecto en colaboración con los *stakeholders* sobre las dimensiones social, económica y ambiental del desarrollo sostenible (Brundtland, 1987), tanto a corto como a largo plazo.

Por otro lado, Silvius, Kampinga, Paniagua, & Mooi (2017) determinan que las decisiones tomadas en la gestión de proyectos están lideradas por los aspectos de la triple restricción: tiempo, costo y calidad. De igual modo, las métricas de calidad son las herramientas específicas mediante las que se miden tanto los datos de desempeño como los entregables del proyecto, en relación con los requisitos definidos al inicio y la planificación, con el propósito de identificar las desviaciones en cuanto a los procesos y a la generación del producto del proyecto. González & Rueda (2020) establecen que, si en el alcance del proyecto se integran indicadores de desarrollo sostenible, su cumplimiento se puede medir mediante los procesos de la gestión de calidad, lo que implica a su vez el cumplimiento de la triple restricción y su correspondencia del trabajo y los entregables (Eid, 2013).

2.2.2 Variables para identificar la relación entre calidad con indicadores de desarrollo sostenible

Al tener en cuenta que la definición del alcance corresponde a la imagen holística del proyecto, su influencia en los demás componentes

de la gestión comienza con la determinación de las expectativas de los *stakeholders* (Fageha & Aibinu, 2014). Cuando un proyecto se ejecuta sin la debida evaluación de las expectativas de los *stakeholders*, pueden presentarse errores, trabajo no previsto y solicitudes de cambio, que se convierten en la fuente de sobrecostos y retrasos de cronograma (Silvius et al., 2017). Por esta razón, los componentes proceden de la definición del alcance como programación de actividades, recursos, comunicaciones y adquisiciones (Silvius, 2015). Si se determinó en el alcance la integración de los aspectos de la sostenibilidad, con respecto a la naturaleza del proyecto (Martens & Carvalho, 2017), estos componentes deben incorporar indicadores de desarrollo sostenible (González & Rueda, 2020).

De acuerdo a la gestión de riesgo, Silvius et al. (2017, p. 1139) afirman que “El factor riesgo es una de las variables de control en la gestión de proyectos”. Por consiguiente, Silvius et al. (2017) enfatizan que identificar los riesgos conlleva a valorar los riesgos relacionados con los aspectos sociales, económicos y ambientales de la sostenibilidad. Al mismo tiempo, estos riesgos se deben analizar desde los recursos, las actividades y el impacto sobre el proyecto. Es así como la reducción de riesgos se convierte en una de las razones para incorporar la sostenibilidad en la gestión de proyectos (Silvius, 2018). Esto se consolida a través del encauzamiento que se realiza en lo inherente a la gestión de riesgos como área de conocimiento en los estándares PMBOK®, PRINCE2® e ISO 21500:2012 (Silvius, 2018).

González & Rueda (2020), con el propósito de establecer, a modo de variables de estudio, indicadores de desarrollo sostenible y métricas de calidad (ambas categorías vinculadas tanto al enunciado del alcance del proyecto como a la valoración de riesgos) construyeron la matriz para la identificación de dichas variables en artículos científicos, que se expone a continuación en las Tablas 1 a 6.

Nombre del Artículo	Nombre del Modelo	Variables definidas con respecto al enunciado del alcance del proyecto										Variables relacionadas a la identificación de los riesgos del proyecto						
		Expectativas de los Stakeholders		Definición, secuenciación y programación de actividades		Recursos		Adquisiciones		Comunicaciones		Cód.	Variable					
		Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable					
3. <i>Key factors of sustainability in project management context: A survey exploring the project managers' perspective</i> (Martens & Carvalho, 2017). Número de citas: 49.	Triple Línea Base / Indicadores de Desarrollo Sostenible (Proyectos de Infraestructura)	Est01	Comportamiento ético en los negocios.															
		EST02	Comportamiento ético en los negocios.															
		EST03	Gestión de la innovación.															
		SST02	Establecimiento de relaciones con la comunidad local.			SR01	Generación de prácticas laborales seguras.											
		SST03	Cumplimiento de los compromisos con los stakeholders.															
	Ambientales					AR04	Gestión del consumo energético.											

Fuente: elaboración propia a partir de González & Rueda (2020, p. 15).

Tabla 2. Matriz de identificación de variables en artículos científicos. Parte 2 de 6.

Nombre del Artículo	Nombre del Modelo	Variables definidas con respecto al enunciado del alcance del proyecto										Variables relacionadas a la identificación de los riesgos del proyecto			
		Expectativas de los Stakeholders		Definición, secuenciación y programación de actividades		Recursos		Adquisiciones		Comunicaciones		Cód.		Variable	
		Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable
4. <i>Critical success factors (CSFs) for integration into construction project management practices in developing countries</i> (Banihashemi, Hosseini, Gollzadeh, & Sankaran, 2017). Número de citas: 48.	Triple Línea Base / Indicadores de Desarrollo Sostenible (Proyectos de Infraestructura)	Sociales		SST04	Compromiso del cliente con las necesidades de otros stakeholders.			SR02	Conocimiento y experiencia por parte del equipo, acerca de la entrega sostenible del proyecto.						
		Ambientales		SST05	Compromiso con la entrega sostenible del proyecto por parte de los stakeholders.			SR03	Creación de roles y responsabilidades en la organización con respecto al proyecto.				AR03	Reducción del riesgo de contaminación del agua y el aire.	

Tabla 3. Matriz de identificación de variables en artículos científicos. Parte 3 de 6.

Nombre del Artículo	Nombre del Modelo	Variables definidas con respecto al enunciado del alcance del proyecto										Variables relacionadas a la identificación de los riesgos del proyecto	
		Expectativas de los Stakeholders		Definición, secuenciación y programación de actividades		Recursos		Adquisiciones		Comunicaciones		Cód.	Variable
		Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable
5. Can project sustainability management impact project success? An empirical study applying a contingent approach (Carvalho & Rabehimi, 2017). Número de citas: 33.	Triple Línea Base / Indicadores de Desarrollo Sostenible (Proyectos de Infraestructura)	SST06	Compromiso del patrocinador con la sostenibilidad.										
		SST07	Los stakeholders están comprometidos con la responsabilidad social en el contexto del proyecto.										
	Calidad / métricas	QST04	La definición del alcance considera directrices corporativas respecto a la sostenibilidad.	QAC01	La revisión y aceptación de procesos y entregables implica el logro de objetivos de sostenibilidad.			QAD02	El suministro de material está alineado con las estrategias de sostenibilidad del proyecto.	QC01	Los reportes presentan explícitamente rendimientos del proyecto comparado con los objetivos de sostenibilidad definidos.		
				QAC02	Los procesos de entrega del proyecto deben cumplir con requisitos de sostenibilidad.								

Nombre del Artículo	Nombre del Modelo	Variables definidas con respecto al enunciado del alcance del proyecto										Variables relacionadas a la identificación de los riesgos del proyecto	
		Expectativas de los Stakeholders		Definición, secuenciación y programación de actividades		Recursos		Adquisiciones		Comunicaciones		Cód.	Variable
6. Continuous value enhancement process (Pulaski & Horman, 2005). Número de citas: 26.	Continuous value enhancement process (Pulaski & Horman, 2005). Número de citas: 26.	Triple Línea Base / Indicadores de Desarrollo Sostenible (Proyectos de Infraestructura)	Sociales	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable
			Ambientales									AR/04	Reducción del riesgo de contaminación del suelo.

Fuente: elaboración propia a partir de González & Rueda (2020, p. 17).

Nombre del Artículo	Nombre del Modelo	Variables definidas con respecto al enunciado del alcance del proyecto										Variables relacionadas a la identificación de los riesgos del proyecto	
		Expectativas de los Stakeholders		Definición, secuenciación y programación de actividades		Recursos		Adquisiciones		Comunicaciones		Cód.	Variable
		Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable		
		AST01	Protección de la biodiversidad, la fauna, la flora y el respeto por áreas protegidas.			AR05	Evaluación del abastecimiento de energía de fuente fósil versus renovable.					AR05	Evaluación del impacto por transporte de materiales y mano de obra.
	Ambientales					AR06	Abastecimiento de agua lluvia versus potable.					AR06	Evaluación del impacto sobre las cuencas hidrologicas.
						AR07	Reducción de emisiones de gases y partículas.						
						AR08	Reducción de niveles de ruido y vibraciones.						

Fuente: elaboración propia a partir de González & Rueda (2020, p. 18).

Nombre del Artículo	Nombre del Modelo	Variables definidas con respecto al enunciado del alcance del proyecto										Variables relacionadas a la identificación de los riesgos del proyecto	
		Expectativas de los Stakeholders		Definición, secuenciación y programación de actividades		Recursos		Adquisiciones		Comunicaciones		Cód.	Variable
		Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable		
		QST05	Mecanismos de dirección basados en las normas.	QAC03	Aseguramiento de la calidad de la construcción.	QR05	Aseguramiento de la calidad de los materiales.			QC02	Desarrollo de comunicaciones de manera imparcial e independiente.	QR101	Supervisión de la protección ambiental.
		QST06	Obedecimiento de códigos y normas de construcción.	QAC04	Construcción de acuerdo con los estándares de calidad y las normas.								
				QAC05	Atención por la calidad de los procesos.								
				QAC06	Toma de decisiones basadas en factibilidad técnica del proyecto.								

Fuente: elaboración propia a partir de González & Rueda (2020, p. 19).

Tabla 6. Matriz de identificación de variables en artículos científicos. Parte 6 de 6.

Nombre del Artículo	Nombre del Modelo	Variables definidas con respecto al enunciado del alcance del proyecto										Variables relacionadas a la identificación de los riesgos del proyecto				
		Expectativas de los Stakeholders		Definición, secuenciación y programación de actividades		Recursos		Adquisiciones		Comunicaciones		Cód.	Variable			
		Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable	Cód.	Variable					
9. Sustainable Delivery of Megaprojects in Iran: Integrated Model of Contextual Factors that affect sustainable delivery of megaprojects. Factor (Hosseini, Banhashemi, Martek, Golizadeh, & Ghodousi, 2018). Número de citas: 11.	Triple Línea Base / Indicadores de Desarrollo Sostenible (Proyectos de Infraestructura)	SST09	Apoyo de cultura organizacional a gestión de proyectos sostenible.								SC02	Variable	Variable			
												SC03	Variable	Variable		
	Calidad / métricas			QAC07	Definición completa de alcance y restricciones del proyecto.	QR06	Formación del equipo basada en competencias.									
				QAC08	Implementación de un régimen de planeación estratégica.											

el diseño de un cuestionario con el propósito de identificar, mediante consulta a la comunidad experta, cómo se vinculan estas variables.

Por otra parte, las relaciones entre las variables se establecen mediante análisis factorial al seguir la estructura de entradas y salidas del diagrama de flujo expuesto en la Figura 1: modelo conceptual para la identificación de la relación entre las variables de estudio.

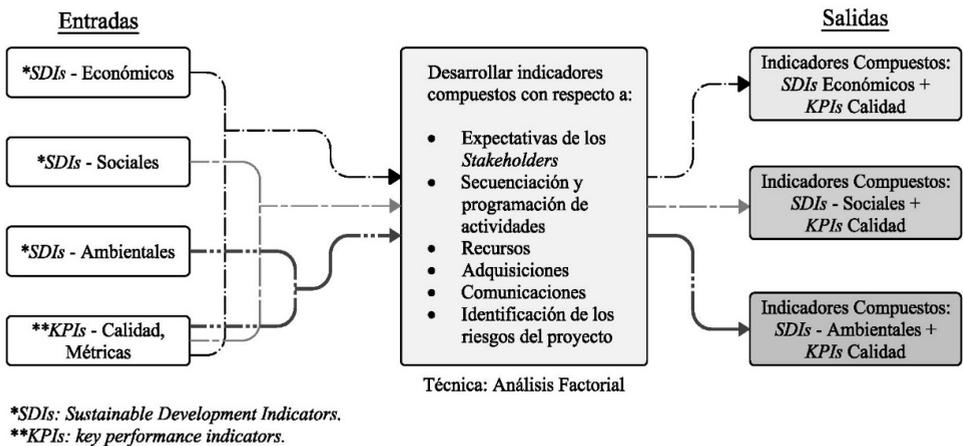


Fig. 1: Modelo conceptual para la identificación de la relación entre las variables de estudio.

Fuente: elaboración propia.

3.2 Diseño de instrumento para consulta de expertos

El cuestionario de investigación está constituido por preguntas cerradas. Al comienzo de cada sección se encuentran enunciados que corresponden a Indicadores de Desarrollo Sostenible o SDIs – *Sustainable Development Indicators* (variables de la categoría 1 de estudio), con los que el experto podía establecer su grado de relación con ciertos Indicadores Clave de Rendimiento o KPIs - Key Performance Indicators de calidad (variables de la categoría 2) ubicados a continuación. El objetivo de cada sección era responder la siguiente pregunta: ¿Cuál es el grado de relación de cada enunciado con las variables que conforman las opciones de respuesta? La calificación se realizó mediante una escala de 0 a 10. Entonces 0 es igual a ningún grado de relación y 10 muy alto grado de relación. La validación del instrumento de investigación se realizó

con la participación de 10 gerentes de proyectos con una experiencia promedio de diez años, que además finalizaron un curso en gestión de proyectos con enfoque sostenible. De esta manera, para cada variable de las consignadas en las Tablas 1 a 6, los encuestados podían evaluar su grado de relación con otras variables, en una escala de percepción de 0 a 10, que a modo de ejemplo se expone a continuación en la Figura 2.

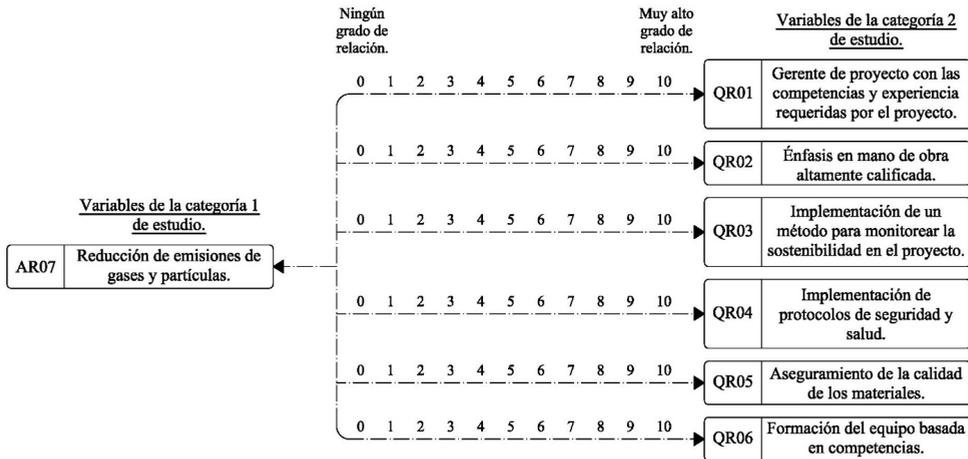


Fig. 2: Evaluación del grado de relación entre variables de estudio.

Fuente: elaboración propia.

Después de realizar la validación del contenido del cuestionario, se realizaron ajustes según lo recomendado por Netemeyer, Bearden & Sharma (2003). A su vez, la consulta de expertos fue realizada online mediante la aplicación de encuestas por la herramienta Google Forms.

3.3 Expertos consultados

Con el propósito de establecer la relación entre las variables estudiadas (indicadores de desarrollo sostenible e indicadores clave de rendimiento de calidad), de manera que aborde una percepción holística acerca de la gestión de proyectos sostenible en el ámbito de la construcción (Silvius & Schipper, 2014), se realizó la consulta de expertos a investigadores científicos y profesionales, vinculados a los campos de conocimiento de la gestión de proyectos y a la sostenibilidad (de manera conjunta), en tres continentes diferentes. A continuación, se hace referencia a los expertos consultados y su situación geográfica en la Tabla 7.

Tabla 7. Descripción de perfiles de expertos consultados.

Perfil de experto	País de residencia
Ph. D. en Gestión de Proyectos, Magíster en Estudios Sociales, Ingeniería informática, certificada en OPM3® y PMP® del PMI®. Profesora Investigadora.	Australia
Ph. D. en Administración, Magíster en Gestión de Proyectos, Ingeniera industrial. Profesora Investigadora.	Canadá
Ph. D. y Magíster en Ingeniería Ambiental, Ingeniero civil. Profesor Investigador.	Colombia
Ph. D. en Administración y Gestión de Empresas, MBA, Magíster en Ingeniería Mecánica, Ingeniero mecánico. Director departamento de proyectos.	Colombia
Ph. D. en Dirección de Proyectos, MBA, Ingeniero de diseño. Vicerrector Académico.	Colombia
Ph. D. (c) en Gerencia de Proyectos, MBA, Magíster en Gerencia Integral de Proyectos, Ingeniero civil, PMP® del PMI®. Director de planeación de entidad pública.	Colombia
Postdoctorado en Geografía, Ph. D. en Instituciones, Políticas y Administraciones Regionales, Magíster en Gobernanza y Políticas de Desarrollo, Magíster en Geografía de Países Emergentes y en Desarrollo, Economista. Profesor Investigador.	Colombia
Ph. D. en Investigación Ambiental, Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ingeniera agrónoma. Profesora Investigadora.	Colombia
Ph. D. y Magíster en Dirección de Organizaciones. Ingeniero de Sistemas. Profesor Investigador.	Colombia
Ph. D. en Automática, Robótica e Informática Industrial, Magíster en Automática e Informática Industrial, Magíster en Tecnología Energética para el Desarrollo Sostenible, Ingeniero mecatrónico. Profesor Investigador.	Colombia
Ph. D. (c) en Ingeniería Informática, Magíster en Gestión de Proyectos, Ingeniero informático. Ganador del premio a prácticas sostenibles del Green Project Management. Gerente de programa de transición y sostenibilidad energética.	Holanda
Ph. D. en Ciencias de la Tecnología, Magíster e Ingeniera ambiental. Directora de instituto de investigación en ingeniería ambiental.	Lituania

Fuente: elaboración propia.

3.4 Análisis de los datos

La información recolectada en las encuestas fue analizada mediante estadística descriptiva y análisis factorial exploratorio. Según Hair, Black, Babin, & Anderson (2006), el análisis factorial es un método estadístico de tipo multivariado, que tiene el propósito de determinar estructuras latentes a partir de una matriz de datos. Esto permite analizar la estructura

de las posibles relaciones entre variables y, a su vez, definir el conjunto de dimensiones subyacentes a la que se le denomina factores.

Por lo anterior, la herramienta estadística multivariada que permitió estudiar la relación que existe entre variables latentes y observadas es la modelación de ecuaciones estructurales o *structural equation modeling* – *SEM* (Hair et al, 2006). Asimismo, en este documento se utilizó la fundamentación teórica de los modelos referenciados, con el propósito de cimentar la posible integración de indicadores.

Es posible definir dos tipos de modelos sobre las ecuaciones estructurales (Finger & Dixon, 1989); los que involucran únicamente variables observadas o *path analysis* y aquellos que combinan variables observadas y latentes: análisis factorial confirmatorio y modelo estructural. Su diferencia radica en que, en el primer caso, se estima la correlación entre las variables latentes, mientras que, en el segundo, se procura estimar, además, su asociación, relaciones entre ellas y la conformación de nuevos factores que permiten interpretar el comportamiento conjunto. Como se observará a lo largo del texto, este análisis se encuentra basado en el segundo tipo de modelo. De esta forma, se utilizan análisis de componentes principales multietápicas, con el objetivo de obtener resultados en las diferentes etapas del proceso, para aprovechar la riqueza de sus relaciones. El análisis fue realizado con los programas SPSS y R.

4. RESULTADOS

4.1 Validación del instrumento

4.1.1 Determinación de posibles outliers

Al seguir las recomendaciones de Norman (2010), con el propósito de identificar inconsistencias acerca de las preguntas del cuestionario, se procedió a identificar *outliers* mediante el análisis de las respuestas dadas por los individuos. Como se observa en la Figura 3, entre los 10 gerentes de proyectos encuestados para la validación del instrumento se detectaron 2 posibles *outliers*, los individuos 1 y 7.

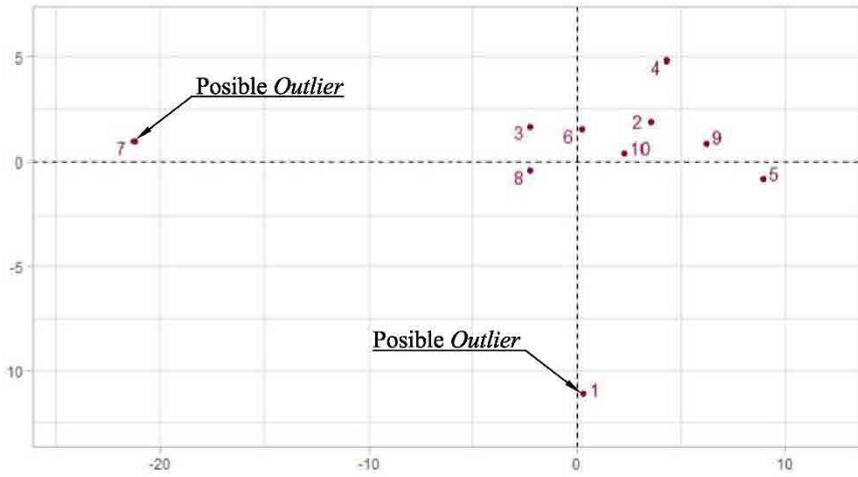


Fig. 3: Identificación de posibles outliers.

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, al desarrollar el diagrama de cajas de la Figura 4 con base en los promedios de las calificaciones dadas por los gerentes de proyectos, se pudo confirmar que el individuo 7 es un *outlier*. Mientras que el promedio de calificaciones de 9 individuos está entre 7,26 y 9,52, la calificación promedio del individuo 7 es de 3,88.

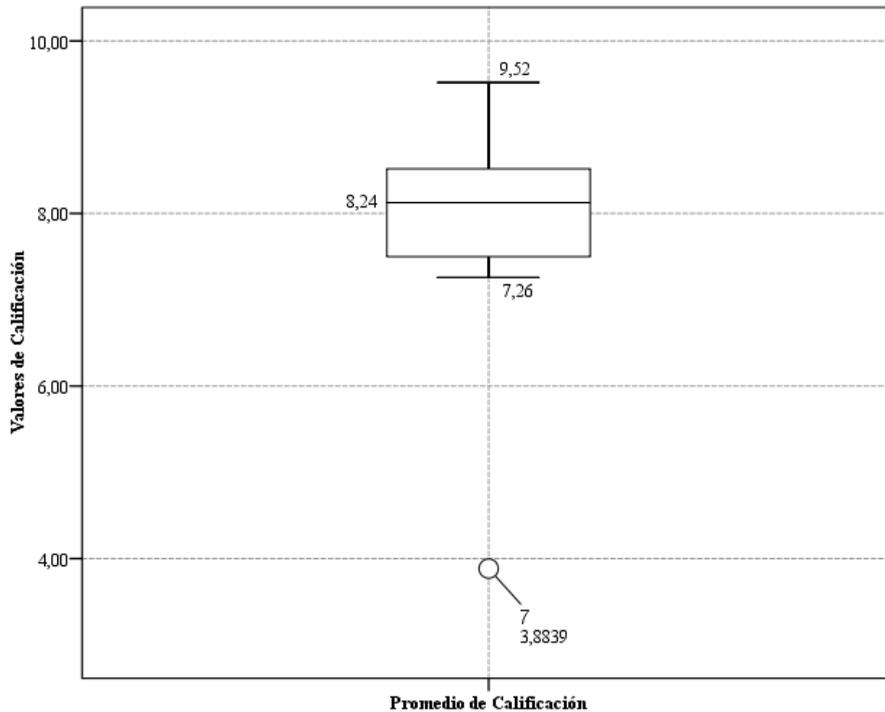


Fig. 4: Diagrama de cajas, confirmación de outlier.

Fuente: elaboración propia.

4.1.2 Test de fiabilidad mediante Alpha de Cronbach

Una vez descartadas las respuestas del individuo corroborado *outlier*, se realizó el análisis de fiabilidad con el *Alpha* de *Cronbach*, que dio como resultado una confianza del cuestionario de investigación de 0,96. Asimismo, como se expone en la Figura 5, se puede evidenciar la diferencia en la tendencia de las opiniones con respecto a las respuestas dadas por 9 gerentes de proyectos, sobre las que se aplicó la prueba de fiabilidad. Esto corrobora que las preguntas no están condicionadas y permiten captar la particularidad de los puntos de vista de los encuestados (Tavakol & Dennick, 2011).

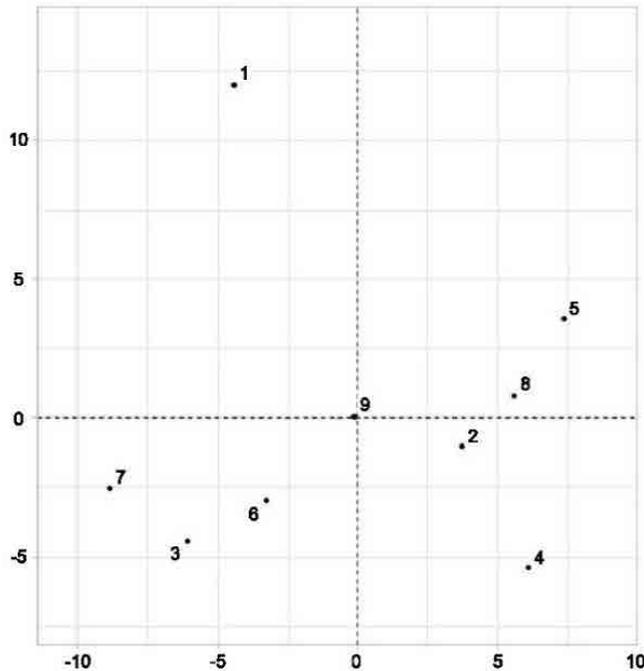


Fig. 5: Proyección de individuos.
Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Análisis del coeficiente de variación de las preguntas

Al seguir las recomendaciones de Tavakol & Dennick (2011), se asumió media unidad por encima del promedio de calificación más bajo de 6,8. Así, se tomó en cuenta como calificación mínima de referencia 7,3 y un coeficiente de variación mayor al 40%, con el propósito de identificar aquellas preguntas que requerían una revisión de sus enunciados, en razón a que el promedio de su calificación era menor a 7,3 y su coeficiente de variación mayor al 40%. Como se observa en la Figura 6, la pregunta identificada tiene una calificación de 7,1 y un coeficiente de variación del 45%. Esta pregunta fue ajustada con el apoyo de los gerentes de proyectos consultados que le otorgaron la calificación más baja.

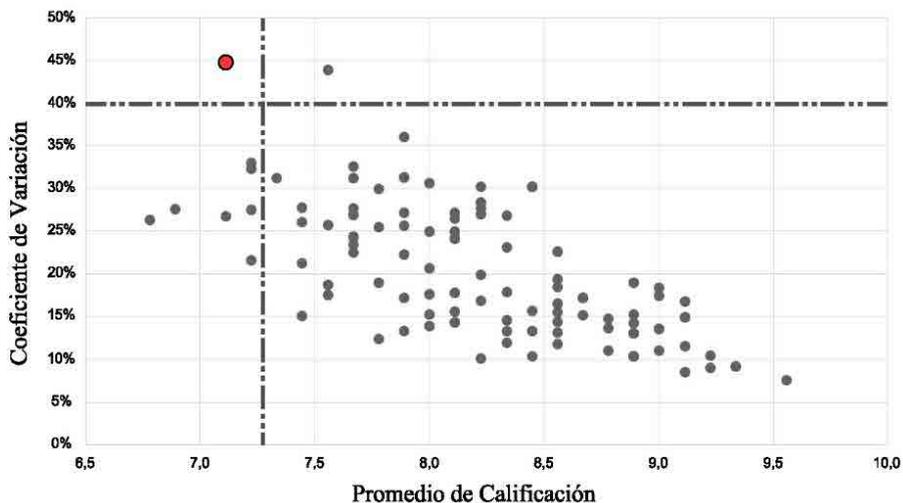


Fig. 6: Análisis del coeficiente de variación.

Fuente: elaboración propia.

4.2 Identificación de factores

Al realizar el análisis de componentes principales se obtuvieron dos productos iniciales sobre los cuales se determinó la relación entre las variables de la categoría 1 de estudio (Indicadores de Desarrollo Sostenible o *SDIs – Sustainable Development Indicators*) con las variables de la categoría 2 (Indicadores Clave de Rendimiento o *KPIs - Key Performance Indicators de calidad*). El primer producto corresponde al plano de correlaciones múltiples, que permite identificar los grupos de factores. El segundo producto corresponde a las fórmulas que expresan la relación entre variables (de esta manera se conforman indicadores compuestos) y sus pesos ponderados dentro de cada factor inicialmente identificado. A modo de ejemplo, a continuación, en la Figura 7 se expone el plano de correlaciones múltiples con los factores resultantes (evidentes en los ejes X y Y) del componente económico, para la categoría expectativas de los *stakeholders*. De esta misma manera, se identificaron los factores vinculados a cada categoría.

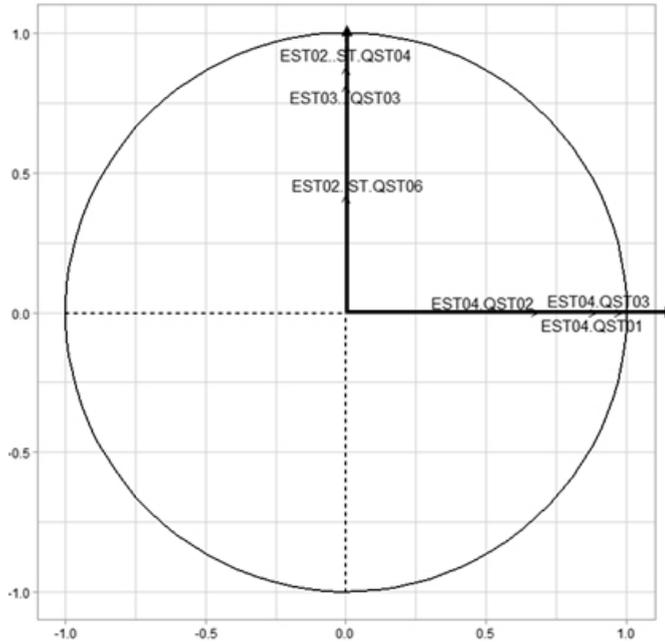


Fig. 7: Plano de correlaciones múltiples.

Fuente: elaboración propia.

4.2.1 Factores de las expectativas de los stakeholders

4.2.1.1 Factores económicos de las expectativas de los stakeholders

$$\text{Factor } 1_{EST} = \text{EST04.QST01} * 35.6 + \text{EST04.QST02} * 21.1 + \text{EST04.QST03} * 43.3 \quad (1)$$

$$\text{Factor } 2_{EST} = \text{EST02.QST04} * 47.9 + \text{EST02.QST06} * 10.8 + \text{EST03.QST03} * 41.2 \quad (2)$$

El Factor 1 está conformado por el *SDI* generación de empleo en el contexto local (EST04) vinculado a los *KPIs* de calidad: cumplimiento de los requisitos legales (QST01), definición de objetivos al cumplir las expectativas de los stakeholders (QST02) y promoción de requisitos de sostenibilidad (QST03), en los que predomina la relación fundada en la generación de empleo con requisitos de sostenibilidad promovidos por la organización responsable del proyecto. Por otro lado, en el Factor 2 se presentó un peso ponderado similar en las relaciones: comportamiento

ético en los negocios (EST02) con definición del alcance que considera directrices corporativas de sostenibilidad (QST04) y gestión de la innovación (EST03) con promoción de requisitos de sostenibilidad (QST03). Este último *KPI* es común para ambos factores. Indica que la gestión de la sostenibilidad económica de los *stakeholders* demanda establecer requisitos de sostenibilidad en el proyecto.

4.2.1.2 Factores sociales de las expectativas de los stakeholders

$$\text{Factor } 3_{SST} = \text{SST02.QST03} \cdot \mathbf{20} + \text{SST05.QST01} \cdot \mathbf{20} + \text{SST05.QST04} \cdot \mathbf{20} + \text{SST05.QST05} \cdot \mathbf{20} + \text{SST11.QST05} \cdot \mathbf{20} \quad (3)$$

$$\text{Factor } 4_{SST} = \text{SST01.QST04} \cdot \mathbf{11} + \text{SST04.QST02} \cdot \mathbf{21} + \text{SST06.QST02} \cdot \mathbf{14} + \text{SST09.QST02} \cdot \mathbf{16} + \text{SST09.QST03} \cdot \mathbf{13} + \text{SST09.QST04} \cdot \mathbf{24} \quad (4)$$

El SDI compromiso con la entrega sostenible del proyecto (SST05) presenta mayor presencia en el Factor 3 y está igualmente vinculado con los KPIs: cumplimiento de los requisitos legales (QST01), definición del alcance al considerar directrices corporativas de sostenibilidad (QST04) y mecanismos de dirección basados en las normas (QST05). En el Factor 4, los *SDIs* con mayor ponderación son: compromiso del cliente con las necesidades de otros stakeholders (SST04), vinculado a definición de objetivos para cumplir las expectativas de los stakeholders (QST02) y apoyo de cultura organizacional a gestión de proyectos sostenible (SST09), con definición del alcance al considerar directrices corporativas de sostenibilidad. En el Factor 3 se insiste en la gestión de *stakeholders* guiada por el seguimiento de normas y leyes. En el Factor 4 se confirma la relación que existe entre el compromiso del cliente y patrocinador con la definición de los objetivos y el alcance del proyecto conforme a directrices corporativas basadas en la sostenibilidad.

4.2.1.3 Factores ambientales de las expectativas de los stakeholders

$$\text{Factor } 5_{AST} = \text{AST02.QST01} \cdot \mathbf{33.3} + \text{AST02.QST03} \cdot \mathbf{33.3} + \text{AST02.QST06} \cdot \mathbf{33.3} \quad (5)$$

$$\text{Factor } 6_{AST} = \text{AST01.QST01} \cdot \mathbf{39.7} + \text{AST01.QST02} \cdot \mathbf{28.9} + \text{AST01.QST03} \cdot \mathbf{31.2} \quad (6)$$

El Factor 5 está dominado por el *SDI* protección de los espacios de las comunidades locales (AST02), relacionado de igual manera a los *KPIs*: cumplimiento de los requisitos legales (QST01), promoción de requisitos de sostenibilidad (QST03) y obediencia de los códigos y las normas de construcción (QST06). Por otro lado, el *SDI* Protección de la biodiversidad, la fauna, la flora y el respeto por áreas protegidas (AST01) está mayormente vinculado al *KPI* cumplimiento de los requisitos legales. Por lo anterior, se puede deducir que la relación entre el proyecto con los territorios, respecto a las comunidades locales y los ecosistemas, debe responder a los requisitos establecidos en marcos legales y normativos respecto a los procesos de construcción.

4.2.1.4 Factores totales vinculados a las expectativas de los stakeholders

$$\text{Factor Total } 1_{\text{Stakeholders}} = \text{Factor } 2_{\text{EST}} * 2.22 + \text{Factor } 3_{\text{SST}} * 48.8 + \text{Factor } 5_{\text{AST}} * 48.8 \quad (7)$$

$$\text{Factor Total } 2_{\text{Stakeholders}} = \text{Factor } 1_{\text{EST}} * 36.6 + \text{Factor } 4_{\text{SST}} * 13.1 + \text{Factor } 6_{\text{AST}} * 50.1 \quad (8)$$

Los factores 3 del componente social y 5 del ambiental representan un 97.6% de la ponderación del Factor Total 1. Por otra parte, el Factor 6, que también pertenece al componente ambiental, corresponde al mayor peso del Factor Total 2. Se puede inferir que los componentes sociales y ambientales dominan la orientación de la sostenibilidad con respecto al cumplimiento de las expectativas de los *stakeholders* más que el componente económico en su visión conjunta.

4.2.2 Factores de la definición, secuenciación y programación de actividades

4.2.2.1 Factores económicos de la definición, secuenciación y programación de actividades

$$\text{Factor } 7_{\text{EAC}} = \text{EST01.QAC01} * 30.2 + \text{EST01.QAC02} * 33.7 + \text{EST01.QAC03} * 7.5 + \text{EST01.QAC05} * 28.5 \quad (7)$$

$$\text{Factor } 8_{EAC} = \text{EST02.QAC01} * \mathbf{38.1} + \text{EST02.QAC06} * \mathbf{11.9} + \text{EST02.QAC08} * \mathbf{50} \quad (8)$$

El *SDI* beneficios financieros por buenas prácticas sociales y ambientales (EST01) domina el Factor 7, vinculado de manera similar a los *KPIs*: la revisión y aceptación de procesos y entregables implica el logro de objetivos de sostenibilidad (QAC01), los procesos de entrega del proyecto deben cumplir con requisitos de sostenibilidad (QAC02) y atención por la calidad de los procesos (QAC05). Se puede deducir que los beneficios financieros del proyecto están condicionados a que las actividades del proyecto cumplan requisitos de sostenibilidad. Además, el Factor 8 está liderado por el *SDI* comportamiento ético en los negocios (EST02), vinculado más estrechamente al *KPI* implementación de un régimen de planeación estratégica (QAC08). Por este motivo, el comportamiento ético está asociado a que los planes de gestión de proyectos de construcción incluyan requisitos de sostenibilidad y se evidencie que se cumplen.

4.2.2.2 Factores sociales de la definición, secuenciación y programación de actividades

$$\text{Factor } 9_{SAC} = \text{SST03.QAC04} * \mathbf{12.2} + \text{SST03.QAC05} * \mathbf{11.9} + \text{SST03.QAC06} * \mathbf{12.8} + \text{SST03.QAC07} * \mathbf{13.6} + \text{SST03.QAC08} * \mathbf{8.8} + \text{SST06.QAC06} * \mathbf{14.2} + \text{SST06.QAC08} * \mathbf{14.2} + \text{SST08.QAC04} * \mathbf{12} \quad (9)$$

$$\text{Factor } 10_{SAC} = \text{SST09.QAC01} * \mathbf{25} + \text{SST09.QAC02} * \mathbf{25} + \text{SST09.QAC03} * \mathbf{25} + \text{SST09.QAC06} * \mathbf{25} \quad (10)$$

En el Factor 9, el cumplimiento de los compromisos con los stakeholders (SST03) es el *SDI* con mayor presencia, vinculado con una mayor ponderación al *KPI* definición completa de alcance y restricciones del proyecto (QAC07). Seguido por el *SDI* compromiso del patrocinador con la sostenibilidad (SST06), relacionado en iguales proporciones a los *KPIs*: toma de decisiones basadas en factibilidad técnica del proyecto (QAC06) e implementación de un régimen de planeación estratégica (QAC08). Se puede deducir que para cumplir con los compromisos con los stakeholders acerca de la sostenibilidad del proyecto, es necesario

que las decisiones del proyecto se tomen conforme al plan de gestión y a valoraciones técnicas.

Por otro lado, el Factor 10 está direccionado por el *SDI* apoyo de cultura organizacional a gestión de proyectos sostenible (SST09), relacionado en igual proporción a los *KPIs*: la revisión y aceptación de procesos y entregables implica el logro de objetivos de sostenibilidad (QAC01), los procesos de entrega del proyecto deben cumplir con requisitos de sostenibilidad (QAC02), aseguramiento de la calidad de la construcción (QAC03) y toma de decisiones basadas en la factibilidad técnica del proyecto. En este último factor se reconoce el aseguramiento de la calidad como herramienta para guiar el desarrollo e implementación de sistemas de calidad, respecto a cumplir requisitos de sostenibilidad conforme a los compromisos adquiridos por la organización constructora.

4.2.2.3 Factores ambientales de la definición, secuenciación y programación de actividades

$$Factor11_{AAC} = AST02.QAC01*33.7 + AST02.QAC02*38.6 + AST02.QAC04*27.6 \quad (11)$$

$$Factor12_{AAC} = AST01.QAC01*33.8 + AST01.QAC02*36.1 + AST01.QAC05*30 \quad (12)$$

La protección de los espacios de las comunidades locales (AST02) es el *SDI* presente en el Factor 11, relacionado a los *KPIs*: la revisión y aceptación de procesos y entregables implica el logro de objetivos de sostenibilidad (QAC01) y los procesos de entrega del proyecto deben cumplir con requisitos de sostenibilidad (QAC02) en proporciones similares. Asimismo, sucede con estos dos *KPIs* en el Factor 12: protección de la biodiversidad, la fauna, la flora y el respeto por áreas protegidas (AST01), que también está vinculado con un peso ponderado similar al *KPI* atención por la calidad de los procesos (QAC05). De modo que la conservación de los territorios, en sus dimensiones poblacional y ecosistémica, está basada en que los procesos de entrega del proyecto cumplan con objetivos y requisitos de sostenibilidad, al garantizar su seguimiento mediante actividades de monitoreo y control con herramientas de calidad como las métricas.

4.2.2.4 Factores totales de la definición, secuenciación y programación de actividades

$$\text{Factor Total } 3_{\text{Actividades}} = \text{Factor } 7_{\text{EAC}} * 35.7 + \text{Factor } 9_{\text{SAC}} * 17.2 + \text{Factor } 12_{\text{AAC}} * 47 \quad (13)$$

$$\text{Factor Total } 4_{\text{Actividades}} = \text{Factor } 8_{\text{EAC}} * 50 + \text{Factor } 11_{\text{AAC}} * 50 \quad (14)$$

Los factores 7 del componente económico y 12 del componente ambiental representan el 82.7% de la ponderación del Factor Total 3. De manera similar, aunque más contundente se da la ponderación de la misma categoría de los dos anteriores componentes en el Factor Total 4, que corresponden al 100% de este factor. Se puede argumentar que los beneficios financieros obtenidos en el proyecto dependen en gran medida de que las actividades del proyecto cumplan requisitos de sostenibilidad, mediante la protección de los territorios con base en el cumplimiento de los compromisos adquiridos con las comunidades locales y la conservación de la integridad de los ecosistemas. Todo lo anterior está basado en que las actividades del proyecto cumplan con objetivos y requisitos de sostenibilidad, garantizados por procesos de seguimiento y control mediante herramientas de calidad.

4.2.3 Factores de los recursos

4.2.3.1 Factores económicos de los recursos

$$\text{Factor } 13_{\text{ER}} = \text{ER01.QR01} * 50 + \text{ER01.QR03} * 50 \quad (15)$$

El SDI liderazgo basado en la sostenibilidad al tomar en cuenta escasez de recursos (ER01) conforma el Factor 13 relacionado con los KPIs: gerente de proyecto con las competencias y experiencia requeridas por el proyecto (QR01) e implementación de un método para monitorear la sostenibilidad en el proyecto (QR03). Se deduce que liderar la sostenibilidad en la gestión de proyectos de construcción implica un gerente con conocimientos sobre los principios de desarrollo sostenible, para que a su vez pueda interpretar los resultados de las actividades en las que se procura evitar la producción de desperdicios durante su realización³.

3 RAE define desperdicio como: “Residuo de lo que no se puede o no es fácil aprovechar o se deja de utilizar por descuido” (RAE, 2020).

4.2.3.2 Factores sociales de los recursos

$$\text{Factor}14_{SR} = \text{SR03.QR01}*\mathbf{14,3} + \text{SR03.QR02}*\mathbf{14,3} + \text{SR03.QR03}*\mathbf{14,3} + \text{SR03.QR06}*\mathbf{14,3} + \text{SR05.QR02}*\mathbf{14,2} + \text{SR05.QR06}*\mathbf{14,2} + \text{SR06.QR02}*\mathbf{14,2} \quad (14)$$

$$\text{Factor}15_{SR} = \text{SR02.QR03}*\mathbf{14,8} + \text{SR02.QR06}*\mathbf{24,3} + \text{SR07.QR02}*\mathbf{33,9} + \text{SR07.QR06}*\mathbf{26,9} \quad (15)$$

El *SDI* creación de roles y responsabilidades en la organización con respecto al proyecto (SR03) tiene la mayor presencia en el Factor 14 y está vinculado en una misma proporción a los *KPIs*: gerente de proyecto con las competencias y experiencia requeridas por el proyecto (QR01), énfasis en mano de obra altamente calificada (QR02), implementación de un método para monitorear la sostenibilidad en el proyecto (QR03) y formación del equipo basada en competencias (QR06). En el Factor 15 el *SDI* reclutamiento basado en la no discriminación por edad, género u origen étnico (SR07) vinculado al *KPI* Implementación de un método para monitorear la sostenibilidad en el proyecto (QR03) presentan la mayor ponderación. Se infiere que la asignación de responsabilidades en el proyecto por parte de la organización debe estar basado en la no discriminación y sí en las competencias. A su vez, estas asignaciones deben ser monitoreadas como parte de las herramientas de seguimiento a la gestión sostenible del proyecto.

4.2.3.3 Factores ambientales de los recursos

$$\text{Factor } 16_{AR} = \text{AR02.QR01}*\mathbf{10} + \text{AR02.QR02}*\mathbf{10} + \text{AR02.QR03}*\mathbf{10} + \text{AR02.QR05}*\mathbf{10} + \text{AR02.QR06}*\mathbf{10} + \text{AR09.QR01}*\mathbf{10} + \text{AR09.QR02}*\mathbf{10} + \text{AR09.QR03}*\mathbf{10} + \text{AR09.QR05}*\mathbf{10} + \text{AR09.QR06}*\mathbf{10} \quad (16)$$

$$\text{Factor } 17_{AR} = \text{AR01.QR03}*\mathbf{9,1} + \text{AR01.QR06}*\mathbf{9,6} + \text{AR01.QR05}*\mathbf{4,9} + \text{AR06.QR03}*\mathbf{11,7} + \text{AR08.QR02}*\mathbf{11,6} + \text{AR08.QR03}*\mathbf{13,2} + \text{AR08.QR04}*\mathbf{14,9} + \text{AR08.QR05}*\mathbf{11,6} + \text{AR08.QR06}*\mathbf{13,1} \quad (17)$$

En el Factor 16 los *SDIs* reducción del consumo de agua (AR02) y uso eficiente de los recursos (AR09) están vinculados con una misma ponderación a los *KPIs*: gerente de proyecto con las competencias y

experiencia requeridas por el proyecto (QR01), énfasis en mano de obra altamente calificada (QR02), implementación de un método para monitorear la sostenibilidad en el proyecto (QR03), aseguramiento de la calidad de los materiales (QR05) y formación del equipo basada en competencias (QR06). En el Factor 17, la relación entre el *SDI* reducción de niveles de ruido y vibraciones (AR08) con el *KPI* implementación de protocolos de seguridad y salud (QR04) presenta el mayor peso. Se puede deducir que la gestión sostenible de los recursos en los proyectos de construcción, con respecto al uso eficiente los mismos y la reducción de las molestias en los contextos de trabajo, se relaciona con proveer a un equipo de proyecto las competencias y herramientas para el aseguramiento de la calidad de las actividades de obra.

4.2.3.4 Factores totales de los recursos

$$\text{Factor Total } 5_{\text{Recursos}} = \text{Factor } 13_{\text{ER}} * 33.3 + \text{Factor } 14_{\text{SR}} * 33.3 + \text{Factor } 16_{\text{AR}} * 33.3 \quad (18)$$

$$\text{Factor Total } 6_{\text{Recursos}} = \text{Factor } 17_{\text{AR}} \quad (19)$$

Los factores económicos, sociales y ambientales de la sostenibilidad en el Factor Total 5 tienen un mismo peso. Por otra parte, el Factor Total 6 está conformado solo por un factor de carácter ambiental. Se puede afirmar que la gestión sostenible de recursos en proyectos de construcción está mayormente enlazada con asignar responsabilidades a un gerente con conocimientos sobre sostenibilidad y un equipo de proyecto seleccionado, de acuerdo al cumplimiento de las competencias requeridas sin discriminación. Esto se consolida mediante la dotación al equipo con herramientas para el aseguramiento de la calidad de las actividades, con el fin de lograr el uso eficiente de los recursos, la disminución de desperdicios y la reducción de las molestias en los ámbitos territoriales en los que se llevan a cabo las actividades.

4.2.4 Factores de las adquisiciones

4.2.4.1 Factores económicos de las adquisiciones

$$\text{Factor } 18_{\text{EAD}} = \text{EAD01.QST02} * 33.7 + \text{EAD01.QAD01} * 32.2 + \text{EAD01.QAD02} * 33.9 \quad (20)$$

El Factor 18 está conformado por el *SDI* gestión de las relaciones con proveedores y contratistas (EAD01), relacionado de manera muy similar con los *KPIs*: definición de objetivos, al cumplir con las expectativas de todos los stakeholders (QST02), investigación del portafolio de proveedores, respecto a su récord en la implementación de requisitos de sostenibilidad (QAD01) y el suministro de material, alineado con las estrategias de sostenibilidad del proyecto (QAD02). Se deduce que es necesario involucrar las expectativas de los proveedores en la gestión de los *stakeholders* del proyecto. A su vez, la elección de proveedores, como ocurre con la asignación de responsabilidades al equipo de proyecto, debe estar basada en su capacidad de proveer servicios y materiales al trabajo bajo los parámetros de sostenibilidad establecidos en la definición del alcance del proyecto.

4.2.4.2 Factores sociales de las adquisiciones

$$\text{Factor } 19_{SAD} = \text{SAD01.QAD01} * 50 + \text{SAD01.QAD02} * 50 \quad (21)$$

El *SDI* desarrollo de adquisiciones con prácticas antisoborno y anticorrupción (SAD01) conforma el Factor 19 vinculado a los *KPIs*: investigación del portafolio de proveedores, respecto a su récord en la implementación de requisitos de sostenibilidad (QAD01) y el suministro de material, alineado con las estrategias de sostenibilidad del proyecto (QAD02). De modo que para alcanzar la sostenibilidad en los proyectos de construcción, la elección de proveedores solo puede estar basada en su experiencia y su capacidad para suministrar servicios y materiales de manera sostenible.

4.2.4.3 Factores totales de las adquisiciones

$$\text{Factor Total } 7_{Adquisiciones} = \text{Factor } 18_{EAD} * 50 + \text{Factor } 19_{SAD} * 50 \quad (22)$$

Las adquisiciones presentan factores de carácter económico y social. Ambos reiteran la necesidad de elegir proveedores, basados en su capacidad de proveer servicios y materiales bajo los parámetros de sostenibilidad. Asimismo, este aspecto evita prácticas antisoborno y anticorrupción, ya que la adquisición de suministros debe estar soportada por el récord documentado en su portafolio.

4.2.5 Factores de las comunicaciones

4.2.5.1 Factores económicos de las comunicaciones

$$\text{Factor } 19_{EC} = EC01.QC01*50 + EC01.QC02*50 \quad (23)$$

El *SDI* gestión de las relaciones con clientes (EC01) está relacionado con los *KPIs*: los reportes presentan explícitamente rendimientos del proyecto comparado con los objetivos de sostenibilidad definidos (QC01) y desarrollo de comunicaciones de manera imparcial e independiente (QC02). Esto implica que las comunicaciones con los clientes deben darse de manera clara y sin manipular los datos del desempeño acerca del trabajo del proyecto con respecto a los temas de la sostenibilidad. Así como también debe existir una actitud ecuaníme frente a los reportes sin intentar ocultar resultados que puedan no ser favorables.

4.2.5.2 Factores sociales de las comunicaciones

$$\text{Factor } 20_{SC} = SC02.QST02*12.8 + SC02.QR01*10.4 + SC02.QC02*14.2 + SC04.QAC05*16.4 + SC04.QC01*19.2 + SC04.QC02*24.9 \quad (24)$$

$$\text{Factor } 21_{SC} = SC03.QST02*50 + SC03.QC02*50 \quad (25)$$

En el Factor 20, el *SDI* suministro de información clara, a tiempo y relevante a *stakeholders* (SC04) vinculado a los *KPIs*: los reportes presentan explícitamente rendimientos del proyecto comparado con los objetivos de sostenibilidad definidos (QC01) y desarrollo de comunicaciones de manera imparcial e independiente (QC02) presenta la mayor ponderación. En el Factor 21, el *SDI* esfuerzo por la aceptación pública del proyecto (SC03) está relacionado con los *KPIs*: definición de objetivos al cumplir las expectativas de los *stakeholders* (QST02) y desarrollo de comunicaciones de manera imparcial e independiente. Las comunicaciones con los *stakeholders* deben tener en cuenta sus expectativas respecto al proyecto y no deben ser de manera genérica. Asimismo, implican presentar de manera explícita el grado de cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad acordados para el proyecto.

4.2.5.3 Factores totales de las comunicaciones

$$\text{Factor Total } 8_{\text{Comunicaciones}} = \text{Factor } 19_{\text{EC}} * 46.7 + \text{Factor } 20_{\text{SC}} * 44.5 + \text{Factor } 21_{\text{SC}} * 8.7 \quad (26)$$

En el Factor Total 8 hay más presencia del carácter social que el económico. En todos los casos indica que las comunicaciones se deben realizar basadas en principios de imparcialidad y claridad, al evitar la manipulación de resultados con respecto al grado de consecución de objetivos de sostenibilidad, concertados para el proyecto.

4.2.6 Factores de la identificación de riesgos del proyecto

4.2.6.1 Factores económicos de la identificación de riesgos del proyecto

$$\text{Factor } 22_{\text{ERI}} = \text{ERI02.QAC06} * 20.9 + \text{ERI02.QAC08} * 21.4 + \text{ERI03.QST02} * 7.2 + \text{ERI04.QST02} * 24.1 + \text{ERI04.QRI02} * 24 \quad (27)$$

$$\text{Factor } 23_{\text{ERI}} = \text{ERI01.QR06} * 19.4 + \text{ERI01.QRI02} * 34.6 + \text{ERI01.QRI03} * 36.3 + \text{ERI03.QST02} * 5.2 \quad (28)$$

En el Factor 22 el *SDI* atención del impacto económico en los *stakeholders* (ERI04) relacionado con los *KPIs*: definición de objetivos al cumplir las expectativas de los *stakeholders* (QST02) y consideración de impactos a corto y largo plazo del proyecto (QRI02) presentan la mayor ponderación. El *SDI* aseguramiento de continuidad de funciones críticas a pesar de incidentes graves en la ejecución (ERI01) vinculado a los *KPIs*: consideración de impactos a corto y largo plazo del proyecto y reducción de riesgos de calidad (QRI03) exhiben el mayor peso en el Factor 23. Los riesgos de carácter económico comprenden atender las expectativas de los *stakeholders*, con respecto a los impactos económicos en el territorio, resultado de las actividades de construcción. Igualmente, se reconoce como elemento fundamental evaluar durante el ciclo de vida del proyecto el cumplimiento de los requisitos para disminuir estos riesgos.

4.2.6.2 Factores ambientales de la identificación de riesgos del proyecto

$$\text{Factor } 24_{\text{ARI}} = \text{ARI03.QAC04} * 8.1 + \text{ARI03.QAC05} * 7.8 + \text{ARI03.QAD02} * 6.8 + \text{ARI03.QRI01} * 8.5 + \text{ARI03.QRI02} * 8.5 + \text{ARI06.QAC02} * 4.6 + \text{ARI06.QAC04} * 6.8 + \text{ARI06.QAC05} * 6.1 + \text{ARI06.QAD02} * 6.8 + \text{ARI06.QRI01} * 8.5 + \text{ARI06.QRI02} * 8.5 + \text{ARI06.QRI03} * 36.3 + \text{ARI06.QST02} * 5.2 \quad (29)$$

$$\text{QRI01} * 8.5 + \text{ARI06.QRI02} * 8.5 + \text{ARI08.QAC05} * 8.4 + \text{ARI08.QR03} * 7.3 + \text{ARI08.QR05} * 6.3 + \text{ARI08.QRI01} * 3.8 \quad (29)$$

$$\text{Factor}_{25_{\text{ARI}}} = \text{ARI04.QAC02} * 16.6 + \text{ARI04.QAC05} * 16.6 + \text{ARI04.QRI02} * 16.6 + \text{ARI07.QAC02} * 16.6 + \text{ARI07.QAC05} * 16.6 + \text{ARI07.QRI01} * 16.6 \quad (30)$$

En el Factor 24, la reducción del riesgo de contaminación del agua y el aire (ARI03) es el SDI con más presencia. Está vinculado de manera similar con los KPIs: construcción de acuerdo con los estándares de calidad y las normas (QAC04), atención por la calidad de los procesos (QAC05), supervisión de la protección ambiental (QRI01) y consideración de impactos a corto y largo plazo del proyecto (QRI02). Se deduce que la reducción del riesgo por contaminación de cuencas hidrológicas y del aire está ampliamente relacionado con el seguimiento del cumplimiento de las normas de construcción, soportado por herramientas de supervisión de calidad para la no afectación ambiental.

En el Factor 25, los SDIs reducción del riesgo de contaminación del suelo (ARI04) y reducción del impacto a estructuras ecológicas (ARI07) están igualmente presentes, vinculados a los KPIs: los procesos de entrega del proyecto deben cumplir con requisitos de sostenibilidad (QAC02), atención por la calidad de los procesos (QAC05), supervisión de la protección ambiental y consideración de impactos a corto y largo plazo del proyecto, en iguales proporciones. La reducción de riesgos acerca de las estructuras ecológicas y el suelo dependen de que las actividades de construcción respondan a requisitos de sostenibilidad procedentes de objetivos de protección ambiental para los ámbitos específicos de la ejecución de obras.

4.2.6.3 Factores totales de la identificación de riesgos del proyecto

$$\text{Factor Total } 9_{\text{Riesgo}} = \text{Factor } 22_{\text{ERI}} * 49.6 + \text{Factor } 24_{\text{ARI}} * 9.3 + \text{Factor } 25_{\text{ARI}} * 39.8 \quad (31)$$

$$\text{Factor Total } 10_{\text{Riesgo}} = \text{Factor } 23_{\text{ERI}} * 46.8 + \text{Factor } 24_{\text{ARI}} * 39 + \text{Factor } 25_{\text{ARI}} * 13.9 \quad (32)$$

Mientras que en el Factor Total 9 los componentes económico y ambiental de la sostenibilidad presentan una ponderación similar, en el Factor Total 10, hay ligeramente un mayor peso con el 52.9% del componente ambiental. Se puede afirmar que en la evaluación de riesgos

de proyectos de construcción, unida a los principios de la calidad, existe una atención muy similar a los dos componentes. Los riesgos de carácter económico involucran más la atención de las expectativas de los *stakeholders* con los impactos económicos en el territorio, por las actividades de construcción. Además, la reducción del riesgo de contaminación del aire, el suelo y las cuencas hidrológicas está encadenado con monitorear y controlar el cumplimiento de normas de construcción, enfocadas en la protección ambiental, sustentada por las herramientas de supervisión de calidad, con el propósito de reducir la afectación ambiental.

4.3 Síntesis de factores

Con base en la Figura 8, que corresponde al modelo de factores, resultado del análisis de componentes principales multietápicas (Finger & Dixon, 1989), se pueden argumentar las siguientes evidencias.

Los componentes sociales y ambientales dominan la sostenibilidad en relación con la atención de las expectativas de los *stakeholders*. A su vez, esta categoría tiene una ponderación en el modelo del 14.3%. Está basado en el compromiso del cliente y el patrocinador con la definición de los objetivos y el alcance del proyecto, fundamentados en los principios del desarrollo sostenible.

Las categorías económica y ambiental presentan una mayor ponderación en la sostenibilidad con respecto a la definición, secuenciación y programación de actividades. Esto se debe a que, según los expertos consultados, los beneficios financieros obtenidos en el proyecto obedecen a que las actividades del proyecto satisfagan el cumplimiento de requisitos de sostenibilidad, a través de la protección de los territorios, al honrar los compromisos adquiridos con las comunidades locales y la conservación de las estructuras ecológicas. Esta categoría tiene un peso del 16% en el modelo.

La dimensión ambiental tiene una mayor ponderación en los recursos del proyecto. Está basada en dotar al equipo de proyecto con herramientas para el aseguramiento de la calidad de los procesos para mantener: el uso eficiente de los recursos, disminuir desperdicios y reducir molestias en los territorios donde se realizan las actividades de construcción. El aspecto de los recursos corresponde a un peso del 14% en el modelo.

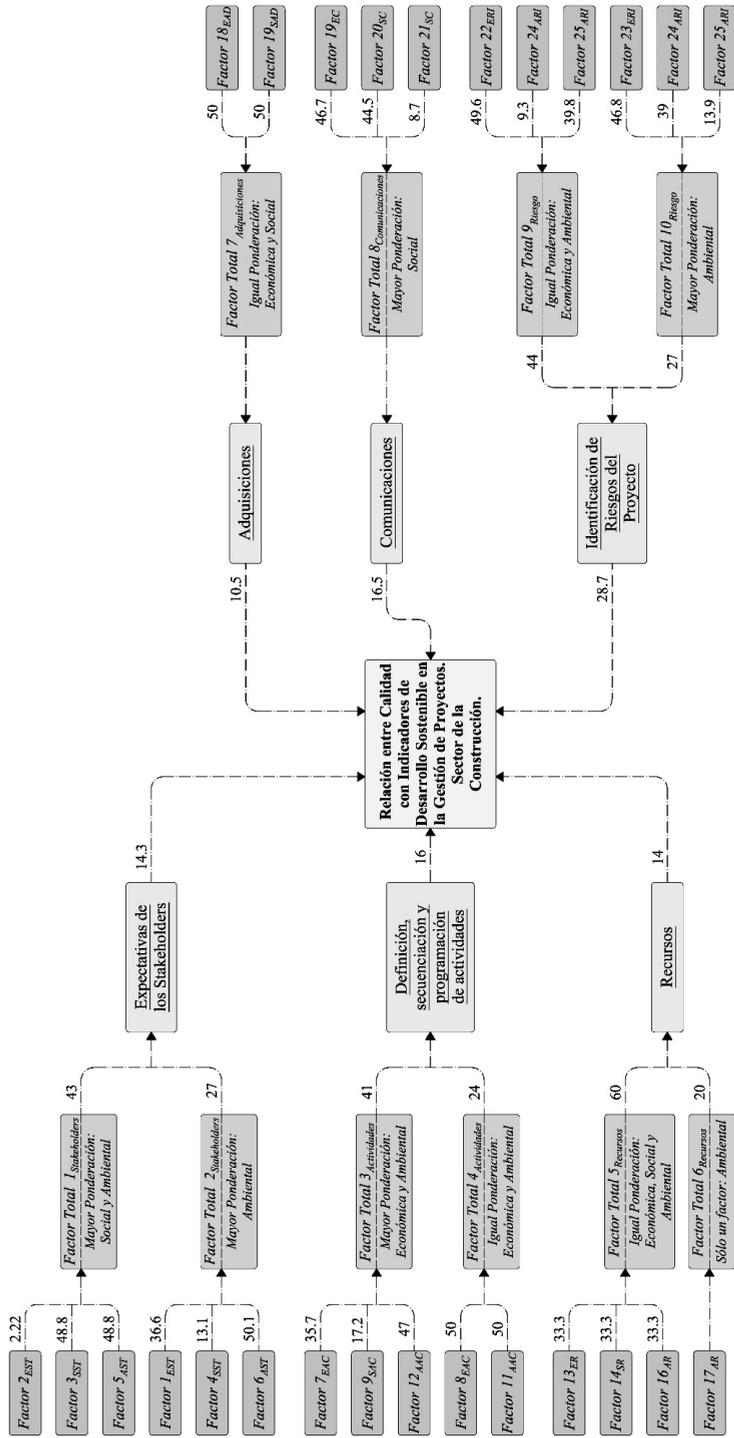


Fig. 8: Modelo de factores resultantes para la identificación de la relación entre calidad con indicadores de desarrollo sostenible en la gestión de proyectos del sector de la construcción.

Fuente: elaboración propia.

En las adquisiciones están igualmente ponderados los aspectos económicos y sociales de la sostenibilidad. Se basa en la elección de proveedores fundamentada en su capacidad de suministrar servicios y materiales con principios de sostenibilidad. Esto previene prácticas antisoborno y anticorrupción, ya que la elección de proveedores debe estar soportada por su récord de abastecer materiales y servicios de manera sostenible, documentado en su portafolio. Esta categoría representa el 10.5% del peso en el modelo.

Las comunicaciones constituyen el 16.5% del peso en el modelo y es la segunda categoría con mayor ponderación total. Según los resultados, las comunicaciones se deben desarrollar con base en principios de imparcialidad y claridad para evitar la manipulación de resultados, con respecto al grado de consecución de objetivos de sostenibilidad. Lo que permitirá implementar acciones correctivas y mejoras en el desempeño del logro de la gestión sostenible del proyecto.

La identificación de riesgos del proyecto es la categoría con mayor peso en el modelo con el 28,7%. Aunque el componente ambiental de la sostenibilidad tiene la mayor ponderación, cabe destacar que los riesgos de carácter económico están unidos a los impactos económicos en el territorio por las actividades de construcción, con relación a las expectativas de los *stakeholders*, que tienen un claro enfoque social. Además, la disminución de riesgos por contaminación del aire, del suelo y de las cuencas hidrológicas están relacionada con el seguimiento del cumplimiento de normas de construcción encaminadas a la protección del ecosistema, soportado por instrumentos para el monitoreo y control de la calidad para reducir la afectación en las comunidades locales y las estructuras ecológicas.

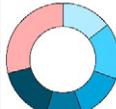
5. DISCUSIONES

Si bien Gareis et al. (2013) determinan que la integración de la sostenibilidad en los procesos de la gestión de proyectos se basa en una visión holística de la sostenibilidad, respecto a sus componentes económicos, sociales y ambientales, cuando se estudia la relación entre calidad con indicadores de desarrollo sostenible en el sector de la cons-

trucción; esto no implica que los 3 componentes se consideren con una misma ponderación, cuando se estudian las categorías: expectativas de los *stakeholders*, definición, secuenciación y programación de actividades, recursos, adquisiciones, comunicaciones e identificación de riesgos. Por el contrario, existen diferencias evidentes tanto en estas categorías, como en la visión conjunta de las dimensiones de la sostenibilidad. Con el propósito de ilustrar esto, a continuación, se expone en la Figura 9 la comparación de los pesos ponderados, resultado del análisis de la relación entre calidad con indicadores de desarrollo sostenible en la gestión de proyectos del sector de la construcción.

Tabla 8. Comparación de los pesos ponderados, resultado del análisis de la relación entre calidad con indicadores de desarrollo sostenible en la gestión de proyectos del sector de la construcción.

Categoría	Peso Ponderado Económico	Peso Ponderado Social	Peso Ponderado Ambiental	Peso Ponderado Total	Convenciones
Expectativas de los Stakeholders	0.0%	4.8%	9.6%	14.4%	
Definición, secuenciación y programación de actividades	8.0%	0.0%	8.0%	16.0%	
Recursos	3.5%	3.5%	7.0%	14.0%	
Adquisiciones	5.2%	5.2%	0.0%	10.4%	
Comunicaciones	0.0%	16.5%	0.0%	16.5%	
Identificación de Riesgos del Proyecto	9.6%	0.0%	19.1%	28.7%	
Suma de Pesos Ponderados	26.3%	30.0%	43.7%	100%	



Peso Ponderado por Categorías



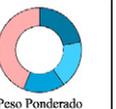
Peso Ponderado por Dimensiones del Desarrollo Sostenible



Peso Ponderado Económico



Peso Ponderado Social



Peso Ponderado Ambiental

Fuente: elaboración propia.

Se observa una mayor ponderación en la dimensión ambiental (43.7%) de la sostenibilidad que en la social (30%) y la económica (26.3%) en el sector de la construcción. Esto revoca la afirmación de Marcelino-Sadaba, González-Jaén & Pérez-Ezcurdia (2015) cuando manifiestan que la sostenibilidad es opuesta a la gestión tradicional de proyectos, en los que la mayoría de los componentes están direccionados a generar beneficios financieros. Con base en la consulta a expertos, se puede afirmar que los beneficios se obtienen conforme las actividades del proyecto satisfacen el cumplimiento de requisitos de sostenibilidad, mediante la protección de los territorios de las comunidades locales y la conservación de los ecosistemas. Ambos aspectos vinculados a la sostenibilidad ambiental y social. Aún más, cuando se observa la dimensión económica, la identificación de riesgos es la categoría con mayor ponderación y está enfocada en la atención de las expectativas de los *stakeholders* (evidencia de relación latente con la dimensión social),

respecto a los impactos económicos en el territorio por las actividades de construcción y no solo al logro de las utilidades financieras.

Aunque Fageha & Aibinu (2014) establecen que la gestión del proyecto inicia con afrontar los requisitos de las expectativas de los *stakeholders*, ya que cuando se ejecuta con inconsistencias en la definición de los componentes del alcance con las expectativas de los *stakeholders*, resulta en errores, solicitudes de cambio y aumento de trabajo no planeado.

Esta categoría no es la que presenta mayor ponderación en la dimensión social. Por el contrario, las comunicaciones son la categoría con mayor peso ponderado en cuanto a la dimensión social de la sostenibilidad en el sector de la construcción. Esta evidencia ya la confirmaron Silvius et al. (2017) cuando establecieron que las comunicaciones deben ser abiertas y además proactivas en cuanto al trabajo y el producto del proyecto, al resaltar sus impactos en lo social, lo ambiental y lo económico, en el corto y en el largo plazo. Esto, a su vez, establece una relación implícita entre la identificación de riesgos y la dimensión social, aunque el análisis factorial establece que no es explícita.

En la dimensión económica, seguidamente a la identificación de riesgos, está la definición, secuenciación y programación de actividades. No obstante, ya se evidenció que el logro de beneficios financieros no es lo que motiva la sostenibilidad económica del proyecto. Se puede afirmar con base en la consulta de expertos que sí es posible su obtención por medio de buenas prácticas sociales y ambientales si se cumplen las dos condiciones establecidas por Carvalho & Rabechini (2017). La primera que argumenta que la aceptación de procesos y entregables implica el logro de objetivos de sostenibilidad. La segunda, que los procesos de entrega del proyecto se deben cumplir los requisitos de sostenibilidad. Por supuesto, las dos anteriores condiciones se garantizan mediante los procesos de seguimiento y control basados en las herramientas de calidad.

A pesar de que los procesos de la gestión de proyectos inician con abordar las expectativas de los *stakeholders* (Fageha & Aibinu, 2014), esto no equivale a que en el caso del sector de la construcción cuando se estudia la relación entre calidad y sostenibilidad, esta categoría tenga la mayor ponderación. Sin embargo, existe una relación tácita entre las

expectativas de los *stakeholders* con la identificación de los riesgos del proyecto, que corresponde a la categoría con mayor ponderación en el modelo de factores resultantes.

Este vínculo se da de la siguiente manera: por una parte, los riesgos de carácter económico implican la atención a las expectativas de los *stakeholders*, relacionadas con los impactos económicos en el territorio, producto de las actividades de construcción. Por otra parte, está la reducción del riesgo por contaminación de cuencas hidrológicas el aire y el suelo, fuertemente vinculada al seguimiento del cumplimiento de las normas de construcción, emitidas por entes gubernamentales reguladores de las actividades en el territorio (Lin, Zeng, Ma, Zeng, & Tam, 2017). Los anteriores aspectos son soportados por herramientas de supervisión de calidad que además implican la evaluación de los riesgos durante el ciclo de vida del proyecto (Silvius & Schipper, 2016), con el propósito de disminuir los riesgos y sus impactos.

Con respecto a las adquisiciones y los recursos, se confirma lo enunciado por Silvius (2015), que estableció que no solo son importantes los materiales utilizados para desarrollar el trabajo del proyecto, sino que la relación entre estas dos categorías comporta la oportunidad para integrar los principios de la sostenibilidad en la selección de proveedores. Así, inicia con asignar al proyecto un gerente con conocimientos sobre sostenibilidad y, a su vez, un equipo seleccionado con base en el cumplimiento de las competencias requeridas, al evitar la discriminación en todos los casos (Silvius & Schipper, 2015).

Esta actitud debe ser emulada con respecto a la elección de proveedores, que se debe ejecutar con relación a la asignación de responsabilidades al equipo de proyecto. Por esto, la elección de proveedores debe estar soportada en su capacidad para proveer servicios y materiales a las actividades del proyecto bajo los requisitos de sostenibilidad determinados en la definición de su alcance. De este modo se ratifica la explicación de Silvius (2015) que, mediante esta forma de proceder, se evitan prácticas antisoborno y anticorrupción, debido a que la compra de materiales y servicios debe estar soportada por el récord de cumplimiento a requisitos de sostenibilidad, documentado en el portafolio de los proveedores.

Finalmente, con respecto a los recursos, todo lo anterior se consolida mediante la dotación al equipo con herramientas para el aseguramiento de la calidad de las actividades, con el propósito de alcanzar el uso eficiente de los recursos, la disminución de desperdicios y la reducción de las molestias en los ámbitos territoriales donde se llevan a cabo las actividades de construcción (Lin et al, 2017).

6. CONCLUSIONES

Con base en la consulta de expertos y el análisis factorial realizados, para identificar la relación entre calidad con indicadores de desarrollo sostenible en la gestión de proyectos del sector de la construcción, existe evidencia para afirmar que la dimensión ambiental de la sostenibilidad tiene una mayor ponderación que la económica y la social. Asimismo, no todas las categorías de la gestión de proyectos implican pesos ponderados en las 3 dimensiones del desarrollo sostenible.

Sin embargo, se evidencian relaciones explícitas y latentes tanto entre las categorías de la gestión de proyectos, como en las dimensiones de la sostenibilidad. Un ejemplo de esto, es que, en la dimensión social, aunque la categoría de identificación de riesgos no presenta una ponderación y una relación de carácter manifiesto, sí existe una relación de orden implícito con motivo de los siguientes aspectos: por una parte, los riesgos de carácter económico incluyen la atención a las expectativas de los *stakeholders* por los impactos económicos en el territorio, producto de las actividades de construcción; por la otra, se encuentra la necesidad de disminuir el riesgo por contaminación de cuencas hidrológicas, el aire y el suelo, estrechamente relacionada al cumplimiento y aplicación de normas y estándares de construcción, emitidos por entes gubernamentales y asociaciones profesionales, ambos reguladores de estas actividades en el territorio y a su vez integrantes de los *stakeholders*.

Esto indica, el enfoque social de la identificación de riesgos y las implicaciones de las herramientas de seguimiento y control de calidad, para soportar la evaluación de los riesgos durante el ciclo de vida del proyecto.

Si bien las expectativas de los *stakeholders* reúnen la mayor cantidad de variables estudiadas y, como afirman González & Rueda (2020), esto es un indicio del foco de interés en la comunidad científica sobre el estudio de la relación entre calidad y desarrollo sostenible en el ámbito de la construcción. Los resultados aquí expuestos evidencian que después de la identificación de riesgos, la siguiente categoría en orden de mayor ponderación es la de las comunicaciones. Producto del análisis de componentes principales multietápicos, se deduce que las comunicaciones se deben realizar con base en principios de imparcialidad y claridad, sobre todo al evitar la manipulación de resultados de desempeño, controlados mediante métricas de calidad para estimar el grado de consecución de objetivos de sostenibilidad. Igualmente, las comunicaciones con los *stakeholders* se deben enfocar en sus expectativas respecto al proyecto y no deben ser de manera genérica. Por supuesto, implican presentar el grado de cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad acordados para el proyecto con los *stakeholders*.

En razón de la categoría definición, secuenciación y programación de actividades, se puede argumentar que los beneficios financieros que se obtienen en el proyecto están supeditados, en gran medida, a que las actividades de construcción se ejecuten conforme a parámetros de sostenibilidad, basados fundamentalmente en el cumplimiento de los siguientes dos grandes grupos de requisitos: protección de los territorios al honrar los compromisos adquiridos con las comunidades locales y conservación de la integridad de las estructuras ecológicas. Esto se garantiza mediante los procesos de seguimiento y control basados en las herramientas de calidad. También se evidencia sobre los resultados de este documento, que, si bien el logro de beneficios financieros no es lo que motiva la sostenibilidad económica del proyecto, sí es posible su obtención por medio de buenas prácticas sociales y ambientales.

Por último, se confirmó la relación que existe entre adquisiciones y recursos. Este vínculo implica la oportunidad de integrar la sostenibilidad en la selección de proveedores. A su vez, el encadenamiento de estas categorías inicia con asignar la dirección del proyecto a un gerente con conocimientos sobre los principios del desarrollo sostenible. De la misma forma, determinar el equipo de proyecto con base en las competencias requeridas, al evitar la discriminación. Igualmente, se debe actuar con

respecto a la selección de proveedores, soportada por su capacidad para suministrar servicios y materiales al proyecto, al cumplir los requisitos de sostenibilidad estipulados en la definición del alcance del proyecto. Mediante esta forma de concebir la gestión de las adquisiciones, se evitan prácticas antisoborno y anticorrupción, ya que la compra de materiales y servicios debe estar soportada por la capacidad de los proveedores para cumplir con requisitos de sostenibilidad, documentada en su portafolio (Silvius, 2015).

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arditi, D., & Gunaydin, H. M. (1997). Total quality management in the construction process. *International Journal of Project Management*, 15(4), 235-243. doi:10.1016/S0263-7863(96)00076-2
- Banihashemi, S., Hosseini, M. R., Golizadeh, H., & Sankaran, S. (2017). Critical success factors (CSFs) for integration of sustainability into construction project management practices in developing countries. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1103-1119. doi:10.1016/j.ijproman.2017.01.014
- Brundtland, G. H. (1987). *Our Common Future: World Commission on Environment and Development*. Oxford: Oxford University Press.
- Burati, J., Farrington, J., & Ledbetter, W. (1992). Causes of Quality Deviations in Design and Construction. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(1992)118:1(34)
- Carvalho, M. M., & Rabechini, R., Jr. (2017). Can project sustainability management impact project success? An empirical study applying a contingent approach. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1120-1132. doi:10.1016/j.ijproman.2017.02.018
- Eid, M. (2013). How can sustainable development redefine project management processes? In *Sustainable Practices: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (Vol. 3, pp. 1183-1202): IGI Global.
- Fageha, M. K., & Aibinu, A. A. (2014). Prioritising project scope definition elements in public building projects. *Australasian Journal of Construction Economics and Building*, 14(3), 18-33. doi:10.5130/ajceb.v14i3.4155

- Ferguson, H., & Clayton, L. (2020). Quality in the Constructed Project. doi:10.1061/9780784411896
- Fernández-Sánchez, G., & Rodríguez-López, F. (2010). A methodology to identify sustainability indicators in construction project management - Application to infrastructure projects in Spain. *Ecological Indicators*, 10(6), 1193-1201. doi:10.1016/j.ecolind.2010.04.009
- Finger, S., & Dixon, J. R. (1989). A review of research in mechanical engineering design. Part I: Descriptive, prescriptive, and computer-based models of design processes. *Research in Engineering Design*, 1(1), 51-67. doi:10.1007/BF01580003
- Gareis, R., Huemann, M., Martinuzzi, R., Weninger, C., & Sedlacko, M. (2013). *Project Management & Sustainable Development Principles* (P. Management & Institute Eds.). Newton Square, PA.
- González, H., & Rueda, M. (2020). Definición de variables para modelo enfocado a integrar indicadores de desarrollo sostenible en la gestión de proyectos. Aplicación infraestructura vial. In E. U. EAN (Ed.), *Ocho investigaciones inéditas de investigadores innovadores* (pp. 10-20). Bogotá: Editorial Universidad EAN.
- Hair, J., Black, W., Babin, B., & Anderson, R. (2006). *Multivariate Data Analysis*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.
- Hosseini, M. R., Banihashemi, S., Martek, I., Golizadeh, H., & Ghodoosi, F. (2018). Sustainable Delivery of Megaprojects in Iran: Integrated Model of Contextual Factors. *Journal of Management in Engineering*, 34(2). doi:10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000587
- Hoyle, D. (2020). *ISO 9000 Quality Systems Handbook-updated for the ISO 9001: 2015 standard : Increasing the Quality of an Organization's Outputs*: Routledge.
- IISD. (2005). *IISD Model International Agreement on Investment for Sustainable Development - Negotiators' Handbook*.
- Juran, J. (2020). *Juran's Quality Handbook: The Complete Guide to Performance Excellence, Sixth Edition*: McGraw-Hill Education.
- Kivila, J., Martinsuo, M., & Vuorinen, L. (2017). Sustainable project management through project control in infrastructure projects. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1167-1183. doi:10.1016/j.ijproman.2017.02.009
- Lin, H., Zeng, S., Ma, H., Zeng, R., & Tam, V. W. Y. (2017). An indicator system for evaluating megaproject social responsibility.

- International Journal of Project Management*, 35(7), 1415-1426. doi:10.1016/j.ijproman.2017.04.009
- Marcelino-Sadaba, S., Gonzalez-Jaen, L. F., & Perez-Ezcurdia, A. (2015). Using project management as a way to sustainability. From a comprehensive review to a framework definition. *Journal of Cleaner Production*, 99, 1-16. doi:10.1016/j.jclepro.2015.03.020
- Martens, M. L., & Carvalho, M. M. (2017). Key factors of sustainability in project management context: A survey exploring the project managers' perspective. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1084-1102. doi:10.1016/j.ijproman.2016.04.004
- Nagasaku, C., & Oda, M. (1965). *Planning and Execution of Quality Control*. Tokyo: Juse Press.
- Netemeyer, R. G., Bearden, W. O., & Sharma, S. (2003). *Scaling Procedures: Issues and Application*. Thousands Oaks: Sage Publications.
- Norman, G. (2010). Likert scales, levels of measurement and the "laws" of statistics. *Advances in Health Sciences Education*, 15(5), 625-632. doi:10.1007/s10459-010-9222-y
- Pulaski, M. H., & Horman, M. J. (2005). Continuous value enhancement process. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(12), 1274-1282. doi:10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:12(1274)
- RAE. (2020). Real Academia Española. Retrieved from <https://www.rae.es/>
- Silvius, A. J. G., & Schipper, R. (2015). Developing a maturity model for assessing sustainable project management. *Journal of Modern Project Management*, 3(1), 16-27.
- Silvius, G. (2015). Considering sustainability in project management processes. In *Handbook of Research on Sustainable Development and Economics* (pp. 311-334): IGI Global.
- Silvius, G., Kampinga, M., Paniagua, S., & Mooi, H. (2017). Considering sustainability in project management decision making; An investigation using Q-methodology. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1133-1150. doi:10.1016/j.ijproman.2017.01.011

- Silvius, G., & Schipper, R. (2014). Sustainability in project management: A literature review and impact analysis. doi:info:doi/10.1362/204440814X13948909253866
- Silvius, G., & Schipper, R. (2016). Exploring the relationship between sustainability and project success - conceptual model and expected relationships. *International Journal of Information Systems and Project Management*, 4(3), 5-22. doi:10.12821/ijispm040301
- Simionescu, V., & Silvius, G. (2016). *Assessing Sustainability of Railway Modernization Projects; A Case Study from Romania C3 - Procedia Computer Science*.
- Tavakol, M., & Dennick, R. (2011). Making sense of Cronbach's alpha. *International journal of medical education*, 2, 53-55. doi:10.5116/ijme.4dfb.8dfd
- Zhang, X., Wu, Y., Shen, L., & Skitmore, M. (2014). A prototype system dynamic model for assessing the sustainability of construction projects. *International Journal of Project Management*, 32(1), 66-76. doi:10.1016/j.ijproman.2013.01.009

METODOLOGÍAS DE CALIDAD FUNDAMENTADAS EN HERRAMIENTAS DE MEJORA CONTINUA PARA OPTIMIZAR PROCESOS ACADÉMICOS Y ADMINISTRATIVOS

Ariza, Miguel Ángel¹, Sánchez, Luz Marina²
.....

1. INTRODUCCIÓN

En este capítulo se presenta un análisis de la correlación de las variables asociadas a los criterios críticos para la calidad (CTQ), identificadas al interior de los programas de ingeniería a nivel de pregrado, que cuentan con herramientas de mejoramiento continuo, implementadas en los procesos académicos y administrativos para el aseguramiento de calidad de los programas.

El estudio es un análisis piloto que se realiza a partir de una muestra de instituciones de educación superior que tengan programas de pregrado en ingeniería, tanto acreditadas con alta calidad, como no acreditadas por el Ministerio de Educación colombiano. Se analizará la percepción de cumplimiento de los criterios críticos para la calidad (CTQ) de los grupos de interés asociados a los programas (estudiantes, empresarios, administrativos y docentes), con la finalidad de evidenciar las variables que inciden en el cumplimiento de las necesidades de los diferentes grupos.

Los materiales y métodos utilizados en la investigación son desarrollados a través de la metodología de investigación tipo mixta (exploratoria

1 Facultad de Ingeniería, Universidad EAN. marizag33391@universidadean.edu.co

2 Facultad de Ingeniería, Universidad EAN. lusanchez@universidadean.edu.co

y cuantitativa) que contempla las siguientes cuatro etapas: definir (D), medir (M), analizar (A) y presentar resultados y conclusiones (PRC).

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

La fundamentación teórica se abordará desde dos enfoques. El primero asociado a la conceptualización de la calidad, vista desde tres perspectivas: las metodologías de calidad, las herramientas de mejora continua y la gestión por procesos; y el segundo, a partir de los criterios de calidad para las instituciones de educación superior, donde se presentan las herramientas y metodologías asociadas a la gestión de la calidad, como se ilustran en la **Figura 1**.

2.1 Conceptualización de la calidad

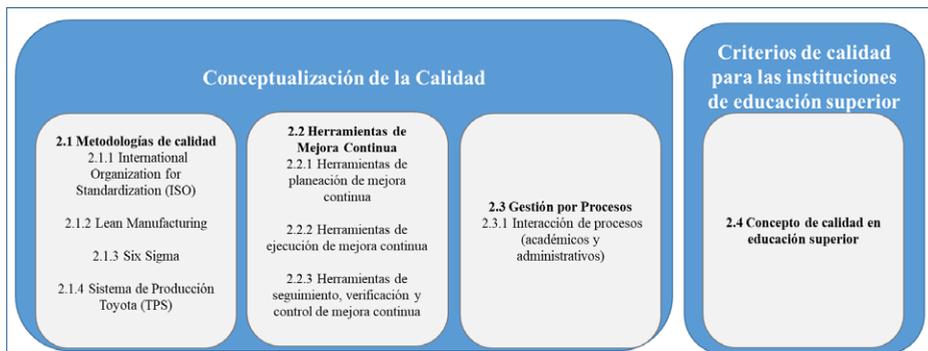


Fig. 1. Diagrama de fundamentación teórica.

Fuente: Autoría propia, 2020.

La calidad es un concepto complejo del que se han tenido múltiples acercamientos a lo largo de la historia. Desde inicios del siglo XX, la calidad se enfocó en la inspección de los productos, con el objetivo de identificar los errores e incumplimientos de los estándares de producción al interior de los procesos organizacionales. Edward Deming, a través de su aporte con el ciclo de Deming (PHVA) y los 14 puntos para lograr la calidad, establece el control de calidad estadístico, que en concordancia con los aportes de Joseph Juran, con su desarrollo de la teoría de la gestión de calidad, que introduce el concepto de calidad total, evidencian un enfoque cuantitativo y cualitativo para mejorar los procesos desde la

inspección y verificación, con la finalidad de asegurar la calidad de los productos. (Moreno, 2017)

En los años 80, el consumidor empieza a tener un papel fundamental para las empresas. En ese momento, cuando sus necesidades empiezan a ser escuchadas, a este proceso se le denomina verbalización de requerimientos, que en la escuela japonesa se llama “gemba”. Con este proceso se busca realizar una traducción de requerimientos del cliente a especificaciones técnicas in situ, para lograr la definición de los productos y/o servicios. (Dalton, 2019)

Las organizaciones empiezan a considerar que la calidad no es solo esencial en los aspectos técnicos del producto o servicio, sino que se introduce también en la gestión de los procesos organizacionales. Es hasta enero de 1988 cuando se constituye en Estados Unidos el premio Malcolm Baldrige a la calidad, al evidenciar un enfoque a los sistemas de información y análisis de los procesos, así como al cliente y su satisfacción. (Marquet, 2011)

2.1.1 Metodologías de calidad

A mediados de los años 80 las organizaciones dieron un paso más, al considerar que el control de la calidad no solo se limitaba al cumplimiento de los requisitos del producto, sino que se debe revisar y analizar la calidad al interior de todo el proceso y de la cadena de producción o del servicio. Al mismo tiempo, se hace evidente que algunos procesos son comunes, independientemente del sector o el tipo de organización. Por lo que surge la necesidad de tener algunos estándares que permitieran a las empresas lograr una organización más estructurada del tema. En ese marco nace la Norma ISO 9000, como un referente para que las empresas puedan organizar sus sistemas internos de calidad (Camisón, Cruz, González, 2006).

2.1.1.1 International Organization for Standardization (ISO)

La ISO 9001 es una norma internacional que hace parte de la familia de las normas asociadas a la calidad ISO 9000, que publica su primer estándar de gestión de calidad en 1987. Es en esta norma en la que se exponen los estándares de los conceptos y requerimientos de

los procesos, asociados a la satisfacción del cliente y a la capacidad de cumplimiento de requisitos internos y externos de la organización por parte de proveedores de productos y servicios. (ISO, 2020)

La norma ISO 9001 contempla los requerimientos que se deben cumplir por parte de las organizaciones que opten por su implementación. Esta norma es utilizada por organizaciones alrededor del mundo para evidenciar que sus productos y servicios son de calidad y que se gestionan por procesos, a través de la aplicación del ciclo de mejoramiento continuo (PHVA), al implementar las actividades de **planear, hacer, verificar y actuar**, en sus procesos. (Bernal, 2013)

Al principio del 2000, la garantía de calidad que se realizaba únicamente al producto, evoluciona y pasa a la aplicación a las cadenas de valor en producción. No solo para garantizar la conformidad de sus productos y servicios, sino que también deben satisfacer los requerimientos del cliente. En el 2008 se genera una versión de la norma. Ubica al cliente en el centro de importancia de las empresas. Lo que obliga a las mismas a definir claramente a sus clientes, para identificar sus necesidades reales. En el 2015, el concepto de sistema de gestión de la calidad amplía su concepto de cliente por el de parte interesada, la cual interactúa con la organización. Adicionalmente, al interior del sistema de gestión de la calidad se incorpora la gestión de riesgos y oportunidades identificadas en el contexto y alcance de la organización (ISO, 2020).

2.1.1.2 *Lean manufacturing*

Es una metodología que se focaliza en el mejoramiento continuo y la optimización de los sistemas productivos o de servicios, mediante la mitigación de desperdicios que se denominan “mudas” y actividades que no suman valor al proceso, como lo son: la sobreproducción, el inventario, los productos defectuosos, los movimientos, los reprocesamientos, las esperas, los transportes de materiales y los productos en proceso.

El objetivo en la producción esbelta es minimizar las pérdidas que se producen en los procesos productivos, al optimizar los costos (fijos y variables) para maximizar las utilidades, sin transmitir los sobrecostos al cliente. Esto se logra al mitigar los tiempos que no agregan valor al

interior de los procesos y al eliminar las “mudas” identificadas en los procesos productivos y administrativos (Toyota, 2020).

Desde su fundación en 1933 hasta la fecha, la organización Toyota ha pasado por diferentes etapas del mejoramiento continuo para llegar a ser una organización referente en calidad del sector automotriz. Sus prácticas, posteriormente, se implementaron con éxito en otras industrias a nivel mundial. Tanto en manufactura como en servicios; en el resultado del desarrollo de diversas metodologías; en la gestión de inventarios y procesos productivos Kanban, fundamentada en el justo a tiempo (JIT); *Single-Minute Exchange of Die* (SMED); Poka Yoke (a prueba de errores); análisis científico de las causas de problemas al interior de los procesos organizacionales (diagrama Ishikawa); Hoshin Kanri y del *Quality Function Deployment* (QFD); 5s; *Total Production Maintenance* (TPM); y su indicador de gestión de maquinaria o de los equipos *Overall Equipment Effectiveness* (OEE) (Socconini, 2014).

2.1.1.3 Six sigma

La organización Motorola desarrolló una metodología de mejoramiento de procesos organizacionales, ya que presentaba problemas por retrasos e incumplimiento en las fechas de entrega. Motorola enfocó sus esfuerzos en detectar y corregir los problemas asociados a la calidad de sus productos y servicios.

El ingeniero Bill Smith estudió en la década de los 80 la correlación entre la vida útil del producto y el número de veces que es sometido a reprocesos. La metodología tiene como principal objetivo mitigar la variabilidad asociada a las 6-M (**m**edio ambiente, **m**edición, **m**aquinaria, **m**ano de obra, **m**étodo y **m**ateria prima), al reducir o eliminar los defectos y/o fallas en los productos o servicios ofertados a los clientes. (Universidad Alliance, 2015; Fersini, 2019)

Se denomina six sigma, ya que la meta es lograr llegar a un máximo de 3.4 defectos por millón de oportunidades de error fundamentado en el concepto de (DPMO):

$$\text{DPMO} = D / (U * OP) (1)$$

D= defectos o errores identificados en el producto o servicio evaluado.

U= unidades de muestra o población que se están evaluando.

OP= número de oportunidades que tiene el producto o servicio para presentar defectos o errores.

Ecuación 1 Defectos por millón de oportunidad (DPMO)

La metodología six sigma se fundamenta en herramientas estadísticas para la caracterización y el estudio de los procesos. Al estudiar la desviación asociada a la variabilidad de una operación, para que permanezcan dentro los límites (tolerancia de un proceso o producto) establecidos por los requisitos del cliente. La eficiencia de una operación se puede medir en conformidad al nivel de sigma (σ), como se ilustra en la **Figura 2**, donde se presentan los niveles (σ) según la cantidad de defectos por millón de oportunidad (DPMO), lo que permite identificar el nivel de rendimiento de un proceso.

Nivel sigma	Defectos por Millón de oportunidades	Rendimiento
6	3	99.9997%
5	233	99.997%
4	6,210	99.379%
3	66,807	93.32%
2	308,537	69.2%
1	690,000	31%

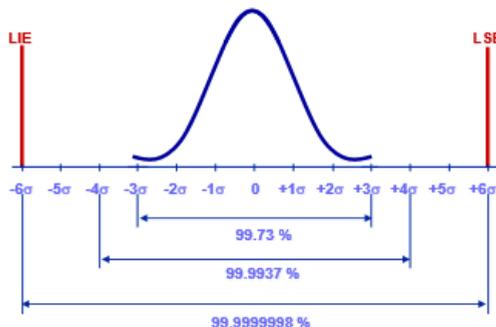


Fig. 2. Tabla de nivel sigma vs. DPMO.

Fuente: LSSI y 2019.

En la **Figura 2** se presentan los defectos por millón de oportunidad que se generan por cada uno de los niveles sigma, con su correspondiente rendimiento (Fersini 2019).

Para lograr llegar a un nivel de seis sigmas al interior de la metodología de six sigma, se utiliza la gestión de proyectos “DMAIC” (*define – measure – analyze – improve – control*). A través de cada una de sus etapas se busca la optimización de los procesos así:

Definir: en esta etapa se define el alcance del proyecto (turno, máquina, proveedor, sucursal, materia prima, producto, referencia a intervenir, etc.). Se identifican los criterios críticos para la calidad (critical to quality - CTQs) del producto o servicio evaluado y los requerimientos básicos de satisfacción o de desempeño del cliente.

Medir: esta etapa de medir se divide en dos: medición del desempeño actual del proceso y evaluación de los sistemas de medición con los que se recolectarán los datos del estudio (medición de los DPMO.)

Analizar: en esta etapa se lleva a cabo el análisis de la información recolectada por el sistema de medición y la significancia de las variables que inciden en el estudio, para determinar el impacto en el estudio y su variabilidad en el proceso que se estudia.

Mejorar: a partir del análisis de las variables que inciden en el estudio de manera significativa, se diseñan diferentes escenarios factibles de soluciones que satisfacen la variable de respuesta del estudio y que optimizan el problema identificado en un plan a corto plazo de implementación de la solución.

Controlar: posterior a la implementación del escenario óptimo para la solución del problema en estudio, se hace necesario diseñar los mecanismos de control que aseguren que el proceso se mantendrá dentro de los parámetros definidos (tolerancia del proceso o del producto), para lograr su adecuada implementación y sostenimiento en el tiempo de la mejora propuesta (Lynch et al., 2003; De Mast & Lokkerbol, 2012).

2.1.1.4 Sistema Productivo Toyota (TPS)

Toyota Production System (TPS) es un término procedente de la filosofía *Toyota Way*, con el objetivo de optimizar la calidad y mejorar los procesos organizacionales de una compañía, a través de sus metodologías *lean* que se ilustran en la **Figura 3**, que están enfocadas en eliminar las pérdidas innecesarias de recursos naturales, humanos y corporativos. TPS tiene cinco principios claves, que son compartidos y aplicados por los trabajadores de la organización Toyota en su trabajo diario y en las relaciones con los *stakeholders*. Estos principios son:

- **Kaizen:** mejora continua. Todo proceso es susceptible de mejorar continuamente en el tiempo.
 - **Respeto:** la organización Toyota fundamenta su trato al personal, a través del respeto a los demás, para crear lazos de confianza entre las partes interesadas.
 - **Trabajo en equipo:** la organización Toyota estimula el crecimiento de sus equipos de trabajo, al compartir sus oportunidades para el desarrollo del talento humano y maximizar el rendimiento individual y colectivo.
 - **Reto:** sostener una visión en el tiempo y alcanzar los objetivos organizacionales, a través del coraje y creatividad de su talento humano.
- Genchi genbutsu:** ir a la fuente, identificar y conocer los hechos, para poder tomar las decisiones acertadas y lograr el cumplimiento de los objetivos.

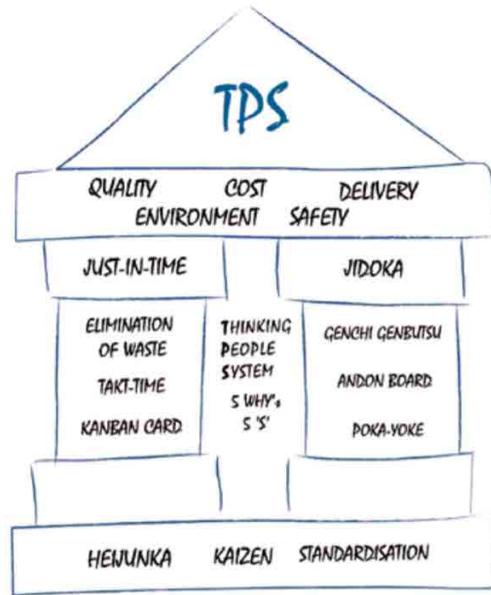


Fig. 3. Metodologías de Toyota Production System.

Fuente: Toyota Production System, 2020.

Toyota Production System satisface la demanda de los clientes de forma rápida y eficiente, al vincular toda la producción con las necesidades reales del mercado y al asegurar que los ritmos de los ciclos de producción se sincronicen con el ritmo del consumo del cliente (demanda) que se conoce como takt time “TKT”. El ritmo de producción es el tiempo por unidad, que está en relación con la disponibilidad de manufactura por turno y la demanda correspondiente.

TPS se convierte en un desafío para la planificación de flujos de trabajo esbeltos y libres de operaciones que no agregan valor al producto o servicio “*lead time*”. Para lograr procesos de trabajo continuos y optimizados que se fundamentan en el consumo de la demanda denominados *pull-system* (estrategia de arrastre o tensión TPS).

El concepto “*heijunka*” es complementario a los *pull-system*, al buscar la eliminación de la variabilidad “*mura*” en las operaciones asociadas a la 6-M (**m**ano de obra, **m**ateria prima, **m**étodo, **m**edición, **m**edio ambiente y **m**aquinaría), gracias a la nivelación de los volúmenes

de órdenes de trabajo y al flujo eficiente y uniforme en los procesos productivos (Toyota, 2020).

2.1.2 Herramientas de mejora continua

El enfoque de la calidad en las empresas ha evolucionado del aseguramiento de la calidad al de la mejora continua de los procesos organizacionales, al migrar a estándares base como los requerimientos descritos en la norma internacional ISO 9001. Con un claro diferenciador de las versiones anteriores, en su énfasis de la mejora continua en los procesos organizacionales (García P., Quispe A., and Ráez G., 2014).

El enfoque de mejora continua (*kaizen*) está asociado a la manufactura esbelta “*Lean*”. La cual debe ser aplicada de manera gradual y ordenada. Se deben priorizar operaciones al interior de la organización a partir del involucramiento del *Know How* de todos los funcionarios de la organización a todo nivel. Bajo la premisa de trabajar conjuntamente en el mejoramiento continuo de los procesos, sin incurrir en grandes inversiones de recursos financieros.

El enfoque de mejoramiento continuo se compone de varias herramientas orientadas a mitigar los desperdicios “*mudas*” en las operaciones que no le agregan valor al producto o servicio. Lo que genera como resultado el aumento de la productividad y utilidades sin necesidad de incrementar el precio del producto y servicio, al eliminar los sobrecostos y gastos asociados a los desperdicios identificados, para incrementar la satisfacción de las partes interesadas y mantener los márgenes de utilidades (Díaz del Castillo, 2009).

2.1.2.1 Herramientas de planeación de mejora continua

En primera instancia se analizará desde la escuela japonesa el *hoshin kanri*. Es una herramienta de direccionamiento corporativo que combina la gestión estratégica y operativa, al vincular el logro de los objetivos de la alta dirección con el día a día a nivel operativo. Es una técnica que enfoca el esfuerzo de las operaciones y actividades en los procesos organizacionales al cumplimiento de la visión y misión organizacional, al articular los objetivos estratégicos a los tácticos y operacionales a todo nivel de la compañía (Cudney et al., 2013).

El funcionamiento del *hoshin kanri* inicia con el planteamiento de las directrices (el qué debo hacer) de la organización, que provienen de las premisas de misión, visión, valores y filosofía de la misma. Por cada directriz se deben diseñar y analizar las estrategias (el cómo lo debo hacer), que se gestionan a partir del análisis interno y externo. Este análisis es soportado a través de diferentes herramientas para la obtención de esta información como las siguientes:

- Análisis de debilidades, oportunidades, fortalezas y amenazas (DOFA).
- Análisis externo a nivel político, económico, social, tecnológico, ecológico y legal (PESTEL).
- Síntesis de factores internos de análisis (*internal factors analysis summary* - IFAS).
- Síntesis de factores externos de análisis (*external factors analysis summary*- EFAS).
- Análisis de recursos organizacionales que son; valiosos, únicos - escasos, inimitables y organizados (*valuable, rare, imperfectly, imitable and non substitutability*- VRIO).
- Análisis de factores claves de éxito (matriz industrial).
- Análisis de las 5 fuerzas de Porter (poder de negociación de compradores o clientes, nuevos competidores potenciales, productos sustitutos, poder de negociación de vendedores o proveedores y rivalidad entre competidores) (Ennals, 2010).

Luego del diseño de las estrategias para dar cumplimiento a las directrices, se generan las métricas para la medición de la eficacia, eficiencia y efectividad de las estrategias. Para realizar esta medición se establecen los objetivos tipo **SMART** (**s**pecific, **m**ensurable, **a**chievable, **r**elevant and **t**imely), a los cuales se les asigna una meta y un indicador de gestión con su ficha técnica y frecuencia de medición.

El *hoshin kanri* cuenta con un complemento de análisis del comportamiento de los indicadores de gestión que miden los objetivos para el cumplimiento de las estrategias y directrices. Este complemento se conoce en *lean manufacturing* como “4Q”, que son cuatro cuadrantes del análisis de un indicador de gestión:

- Gráfica de tendencia de los resultados de la métrica del indicador de gestión que se está evaluando.
- Análisis de causa y efecto (Ishikawa) del no cumplimiento o variabilidad en el cumplimiento del indicador analizado.
- Pareto de priorización de causas identificadas, a través del diagrama Ishikawa. (Clasificación de problemas, identificación y resolución).
- Plan de trabajo o de acción para mitigar causas priorizadas (Socconini, 2014).

Por otra parte, en la escuela americana se desarrolló en los años 90 el cuadro de mando integral *balanced scorecard* (BSC) desarrollado por David P. Norton y Robert S. Kaplan. Es una herramienta que articula las estrategias, directrices y los objetivos organizacionales, con el desempeño de los procesos y productos, a través de las cuatro perspectivas críticas de las organizaciones: financiera, requerimientos del cliente, gestión de los procesos y aprendizaje o entrenamiento (Altair, 2005; Kaplan, 2017).

En varios artículos científicos se evidencia la aplicación del BSC en la educación superior. Se hace referencia a las universidades como organizaciones que se deben adaptar permanentemente al cambio y a los procesos de modernización de la educación, a través del aseguramiento de alta calidad y competencia con la implementación del BSC para su gestión estratégica (Kaplan; Norton, 1992).

Se puede evidenciar también la aplicación del BSC en la Comisión Europea, a través de la iniciativa “*E-learning: El diseño de la educación del mañana*”, para que las instituciones de educación superior gestionen y controlen, con la ayuda de un cuadro de mando integral BSC, sus procesos académicos, administrativos, por medio de las cuatro perspectivas: financiera, requerimientos de los clientes, gestión de los procesos y entrenamiento.

Entre las instituciones que participan de su implementación se destacan las siguientes universidades:

- Lublin (en nombre de la Universidad Virtual Polaca)

- Centro METID de Milán (Politécnico di Milano)
- Universidad de Nancy (Antipolis de Niza)
- Universidad de Sophia (Antipolis de Niza)

En las anteriores instituciones de educación se ha implementado el BSC y cada una ha logrado diferentes estados del desarrollo en su implementación para sus procesos administrativos y académicos (Garrot, Psillaki, and Rochhia, 2008).

2.1.2.2 Herramientas de ejecución de mejora continua

Entre las herramientas de ejecución de la mejora continua se pueden evidenciar:

Las 5S: seiri (seleccionar), seiton (ordenar), seiso (limpiar), siketsu (estandarizar) y shitsuke (hacer seguimiento). Es una técnica para optimizar el plan de limpieza y la ocupación de las áreas de trabajo, a través de la optimización de la productividad operacional en los procesos y el cumplimiento de la promesa de valor de encontrar cualquier objeto en menos de 30 segundos en un puesto de trabajo.

La implementación de 5s genera resultados evidenciados en la mejora de procesos por reducción de costos, aumento de efectividad y eficiencia en la gestión de mantenimiento y mejora de la disponibilidad de las máquinas, el aumento de la seguridad y la reducción de la contaminación por parte de la industria (Gapp, Fisher, and Kobayashi, 2008).

Solución de Problemas 3 D's (Disciplinas) y 8 D's (Disciplinas): el gobierno de los Estados Unidos estandarizó el método de las 8 D's durante la segunda guerra mundial, para resolver problemas asociados a las operaciones militares y lo denominó "*Militar Estándar 1520*" (*corrective action and disposition system for non conforming material*). Posteriormente, en los años 70, *Ford Motor Company* la incorporó a sus herramientas de análisis como un requisito interno de los procesos, con el objetivo de tener un lenguaje común en la estructura de resolución de un problema. Luego, en el 2001, Technicolor, el primer productor de DVD's en el mundo, incorpora en su versión compacta y práctica el método de las 8 D's, para solucionar los problemas de trabajo. Las 3 D's

es una metodología para resolver problemas desde su causa raíz en tres grandes bloques: problema, causa y solución.

Esta misma metodología de solución de problemas se puede desagregar en 8 D's:

- Definición inicial del problema y acciones de contención.
- Conformación del equipo (debe ser interdisciplinario y compuesto por todos los niveles del personal).
- Caracterización del problema.
- Desarrollo de acciones de contención.
- Realizar el análisis de causas, a través de la identificación de la causa raíz (diagrama de Ishikawa, diagrama de árbol lógico y/o los 5 W y H).
- Elegir y validar acciones de solución factible a la problemática en estudio.
- Desarrollar acciones preventivas.
- Reconocimiento al equipo de trabajo (García et al., 2018).

Trabajo celular: la forma de gestionar los puestos de trabajo muestra una gran evolución a lo largo del tiempo. Inicia con la división del trabajo de Adam Smith y posterior paso a la definición de los lineamientos para incrementar la productividad desarrollados en los inicios del siglo XX, hasta llegar a los conceptos de manufactura *lean* del modelo Toyota, que incorpora el modelo de trabajo celular y la caracterización de la cadena de valor.

La manufactura esbelta "*lean*" enfoca sus esfuerzos en una producción que minimiza los volúmenes de productos e inventarios para nivelar la producción, al introducir un flujo continuo de productos o insumos en las operaciones, por medio de células o celdas de trabajo que comprenden un conjunto de operaciones que tiene como objetivo la producción de productos en lotes pequeños (Socconini, 2014).

Single-Minute Exchange of Die (SMED): es una herramienta que se focaliza en optimizar los cambios de herramientas o insumos de una máquina o equipo en menos de 10 minutos (1 solo dígito de unidad de tiempo: minutos). Para lograr ese objetivo, los tiempos de cambio interno se convierten (con la máquina o equipo en parada) en tiempos de cambio externo (con la máquina o equipo en producción), para realizar más operaciones sin tener que detener la máquina o el equipo (Shingo, 2019).

Poka Yoke: son mecanismos a prueba de error. Provenientes de cinco fuentes: manejo de maquinaria, materias primas, condiciones del medio ambiente, método y sistemas de medición, a través del desarrollo de mecanismos que anticipen, prevengan o detecten el error antes de que el defecto se genere (Sondermann et al., 2018).

Kanban: es una metodología que permite gestionar y controlar sistémicamente, a través de la gerencia visual (tarjetas) los inventarios de productos e insumos en las líneas de producción, al tener en operación únicamente las cantidades requeridas por el proceso, de acuerdo con la demanda y el ritmo de producción (Kumar et al., 2007).

Existen tres tipos de tarjetas kanban: 1) tarjetas de retirada (especifica la información del producto que el proceso debe retirar del que lo antecede); 2) tarjetas de producción (especifica las características del producto a producir); y 3) tarjetas de ensamble (especifica las características del producto a ensamblar) (Ahmad et al., 2018).

Mantenimiento Productivo Total-TPM: es una metodología que hace parte de la escuela japonesa, a través del *Japan Institute of Plant Maintenance (JIPM)*, como un sistema destinado a facilitar la implementación de la forma de trabajo JIT (García, 2016). TPM tiene como premisa principal la producción continua al aplicar los conceptos de: gestión de riesgos (pensamiento preventivo); mitigación de defectos ocasionados por máquinas; mitigación de accidentes laborales; cero paros (mayores, medios y menores); participación total del personal de la organización (estratégico, táctico y operativo); y la autogestión del mantenimiento de equipos, maquinaria y puestos de trabajo (García, 2016).

2.1.2.3 Herramientas de seguimiento, verificación y control de mejora continua

Entre las herramientas de seguimiento, verificación y control de la mejora continua se pueden encontrar, desde la escuela japonesa, varias herramientas. Entre las que se destacan las siguientes:

Andon: hace parte de las herramientas de *lean manufacturing*. Se trata de señales que pueden ser de carácter visual y/o auditivos que sirven para generar alertas asociadas a problemas de calidad o paros al interior de los procesos. Provee información en tiempo real del estado del proceso, producto o servicio (Da Silva and Baranauskas, 2000). Se pueden clasificar en:

- **Alarmas:** información auditiva en su mayoría, para dar una señal de aviso en situaciones prioritarias.
- **Lámparas o banderas:** información visual para conocer las etapas o estados de los procesos, maquinaria o equipos, según la condición de operación.
- **Tarjetas:** como en la metodología Kanban de gestión de inventarios, se utilizan señales visuales, a través de información visual que indica a los operadores de los procesos cuándo iniciar una actividad de producción, retiro de mercancía o ensamble.
- **Tableros de información:** útiles para dar seguimiento continuo y automático al plan de producción, dar indicaciones o instrucciones para los puestos de trabajo.
- **Colorimetría (semáforo):** permite distinguir situaciones normales de anormales y percibir posibles riesgos (Socconini, 2014).

Análisis del modelo causa efecto (AMEF): es una herramienta desarrollada por la NASA en los años 60, enfocada en el seguimiento, verificación y control, con un enfoque preventivo. Busca planificar acciones de mitigación de las posibles fallas potenciales que son susceptibles de presentarse al interior de los procesos.

Existen 2 tipos de AMEF: de proceso y de diseño de producto. Ambos se desarrollan a través de un método formal, analítico y preventivo, para poder identificar y valorar las fallas potenciales de los procesos y/o productos, al analizar y evaluar los efectos (impactos) en la operación e identificar las acciones que ayuden a reducir la frecuencia o el impacto de la falla potencial. Ayudan a la organización a documentar el proceso completo y mantener el “know how” (Montalbán et al., 2015).

Value stream mapping (VSM): es una herramienta visual y cuantitativa que permite evidenciar el flujo de información y de materiales en las operaciones de una familia de productos (referencias). Esta herramienta sirve para evaluar los flujos de procesos desde una perspectiva sistémica tipo 360 grados, al involucrar a todos los *stakeholder*.

El VSM contempla la participación de todas las partes interesadas, al graficar el flujo de proceso (puede ser push or pull “empujar o jalar”) desde el proveedor hasta el cliente final, tanto los que agregan valor como los que no y que son necesarios para llevar un producto o servicio a través de los pasos del proceso. Esta herramienta es visual y se utiliza para ayudar a ver el desperdicio oculto y las fuentes de residuos, a través del cálculo de la capacidad de producción por turno (CPS), el ritmo de producción por turno (Takt Time-TKT), el tiempo de valor agregado (TVA) y cantidad de recurso humano requerido para atender el proceso (Thorsen, 2005).

2.1.3 Gestión por procesos

La gestión por procesos es un pilar de la mejora continua. Se mide a través de tableros estratégicos de mando integral como el *hoshin kanri* por la escuela japonesa y el *balanced scorecard* por la escuela americana, al consolidar los indicadores de gestión que miden los objetivos estratégicos organizacionales (Zaratiegui, 1999; Valbuena, 2017).

La visualización de los procesos académicos y administrativos de las instituciones de educación superior se pueden generar por medio de los mapas de procesos, para evidenciar su interacción y un claro enfoque de las instituciones por la gestión por procesos. Pueden adoptar un enfoque empresarial, para que los estudiantes, profesores y personal administrativo

sean concebidos como dueños de procesos que tienen el fin de satisfacer los criterios críticos para la calidad (CTQ), como un camino a la educación de alta calidad (Ministerio de Educación, 2012).

Al lograr la alineación de los requerimientos de las competencias que se desarrollan en las instituciones de educación superior con las requeridas por el sector empresarial, se hace visible la necesidad de gestionar los procesos como una cadena de valor con un enfoque de aplicabilidad de competencias al sector empresarial. Esto al identificar claramente las actividades que no agregan valor y que se convierten en “cuellos de botella”, que deben ser analizados, caracterizados y mitigados.

Se podrá hablar de una mitigación en la brecha del desarrollo de competencias para operar los procesos organizacionales entre los desarrollados al interior de la academia y los requeridos por el sector empresarial cuando las universidades acepten el nuevo reto de implementar propuestas innovadoras bien articuladas, con miras a cerrar la brecha identificada. Esto con el fin de satisfacer las necesidades del entorno cambiante empresarial en el marco de la revolución industrial 4.0 (Laka and González, 2015; Patiño, 2019).

En la actualidad, las universidades continúan con un enfoque clásico de procesos académicos que se orientan al saber y no necesariamente se articulan con los requerimientos por competencias de un actor principal como el sector empresarial, con una participación tangencial de las empresas que son involucradas en el momento de una acreditación y/o renovación de un registro calificado para un programa académico; principalmente como un requisito y no como un aliado de crecimiento en los procesos y su mejora continua.

Una manera eficiente para mitigar las brechas existentes entre el sector empresarial y el académico es el uso de metodologías de mejora continua de procesos, como lean six sigma, que es la sinergia de la escuela americana y la japonesa, al incorporar métodos cuantitativos a partir del uso de la distribución estadística normal y el método DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar y controlar) (Drohomeretski et al., 2014; Hogg, 1993).

Actualmente estas metodologías de mejoramiento continuo *lean six sigma* son de uso industrial para optimizar procesos y operaciones de productos y/o servicios, con resultados tangibles en los estados financieros de las organizaciones, a partir de la disminución significativa de los rubros asociados a las cuentas contables de costos y gastos y el aumento de los ingresos.

2.1.4 Gestión de la calidad en la educación superior

El concepto de calidad en educación superior se puede concebir de formas diversas y responde a criterios regionales, disciplinares e institucionales. Como lo menciona Ginkel y Rodríguez (2006), no se puede basar en un modelo universal, ni tiene como criterio principal responder a las necesidades locales. Desde esta perspectiva, la calidad en la educación superior es un concepto multi-dimensional, multi-nivel y dinámico (Vlăsceanu et al., 2004), que depende en gran medida de las condiciones del entorno, de los propósitos institucionales y por supuesto también de las necesidades específicas que el estudiante busca cuando inicia su proceso formativo.

En general, en la educación superior, los procesos de calidad se han enfocado en dos grandes áreas y a veces se han mirado en forma independiente: 1) en la calidad en los procesos de gestión se utilizan, usualmente, técnicas aplicadas a la industria en general, como las explicadas en párrafos anteriores y que se encaminan a la búsqueda de la eficiencia en los procesos y la sostenibilidad financiera; y 2) en la calidad en los procesos académicos, que se enfoca mucho más en la aplicación de los lineamientos establecidos específicamente a las entidades del sistema de educación superior, como el Ministerio de Educación y las demás entidades que intervienen en el sistema.

De acuerdo con el Decreto 1330, la calidad *“es el conjunto de atributos articulados, interdependientes, dinámicos, construidos por la comunidad académica como referentes y que responden a las demandas sociales, culturales y ambientales. Dichos atributos permiten hacer valoraciones internas y externas a las instituciones, con el fin de promover su transformación y el desarrollo permanente de sus labores formativas,*

académicas, docentes, científicas, culturales y de extensión” (MEN, 2019).

Para Colombia, el Ministerio de Educación Nacional (MEN) estableció un sistema de monitoreo y valoración de la calidad para la educación superior, a través de las siguientes características: 1) acreditación, 2) exámenes de calidad de la educación y 3) observatorio del mercado laboral (Castaño y García, 2012).

Dentro de la estructura del Sistema de Educación Superior en Colombia, se cuenta con un Sistema de Aseguramiento de la Calidad de la Educación Superior que está configurado por tres componentes: 1) información, 2) evaluación y 3) fomento.

1) La información: es generada por medio de sistemas que apoyan el proceso, como los siguientes:

- Sistema Nacional de Información de Educación Superior (SNIES)
- Observatorio Laboral para la Educación (OLE)
- Sistema de Información para el Aseguramiento de la Calidad (SACES)
- Sistema de Prevención y Análisis de la Deserción en las Instituciones de Educación Superior (SPADIES)

2) La evaluación: es generada con el apoyo de pares académicos y organismos asesores en dos vías: 1) el registro calificado que es requisito obligatorio para ofertar un programa académico y periódicamente para su renovación; y 2) por solicitud de las instituciones de educación superior que desean obtener la Acreditación de Alta Calidad, ya sea para la institución o para sus programas académicos. Los estudiantes son evaluados al ingreso de la educación superior y en su egreso, mediante un esquema evaluativo de competencias adquiridas, a través de los exámenes Saber Pro.

3) El fomento: es un mecanismo del Ministerio que oferta asistencia técnica en procesos de evaluación, como se detalla en la **Figura 4**.

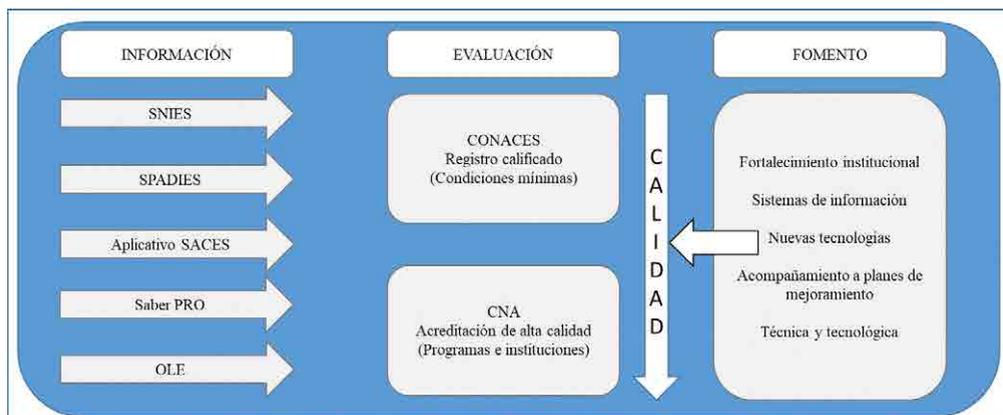


Fig. 4. Sistema de Aseguramiento de la Educación Superior en Colombia.

Fuente: CNA, 2020.

Se ha establecido como criterio de evaluación, la acreditación institucional, según el acuerdo 02 de 2020 del CESU (Consejo Nacional de Educación Superior), al contemplar los factores para la acreditación de alta calidad institucional:

- Identidad institucional
- Gobierno institucional y transparencia
- Desarrollo, gestión y sostenibilidad institucional
- Mejoramiento continuo y autorregulación
- Estructura y procesos académicos
- Aportes de la investigación, la innovación, el desarrollo tecnológico y la creación
- Impacto social
- Visibilidad nacional e internacional
- Bienestar institucional
- Comunidad docente
- Comunidad estudiantil y de egresados (CESU, 2020)

3. MARCO METODOLÓGICO

La metodología de investigación empleada es de tipo mixto (exploratoria y cuantitativa) que contempló las siguientes cuatro etapas:

3.1 Definir (D):

En esta etapa se realizó la selección de la muestra de *stakeholders* (estudiantes, empresarios, administrativos y docentes) de los programas de pregrado en ingeniería y se seleccionaron los procesos académicos y administrativos de los programas, con el fin de evaluar su calidad. Se identificaron las necesidades asociadas a las variables que inciden en el cumplimiento de los requerimientos críticos para la calidad percibidos (CTQ) por los *stakeholders* de los programas de pregrado de ingeniería.

3.1.1 Muestra seleccionada

Las instituciones de educación superior seleccionadas para el estudio exploratorio se dividieron en dos grupos: las instituciones acreditadas con alta calidad y las instituciones que no cuentan con acreditación de alta calidad. Con la finalidad de realizar la validación cuantitativa que permita verificar si las instituciones acreditadas en alta calidad cumplen en alto grado (mayor a un 85%) los criterios críticos de calidad evaluados, a través de los instrumentos de este estudio por parte de los *stakeholders*.

La población de estudiantes matriculados por semestre en los programas de ingeniería de las instituciones de educación superior (IES) seleccionados para el estudio es de 3.088 estudiantes, como se ilustra en la **Tabla 1**, se discrimina por (IES) acreditadas de alta calidad y no acreditadas de alta calidad.

Tabla 1. Ficha técnica población promedio de estudiantes por institución de educación superior seleccionadas en la muestra piloto.

Institución de Educación Superior (IES)		Programas académicos de ingeniería a nivel pregrado	Promedio estudiantes
No Acreditadas de Alta Calidad			
	Institución educativa (1)	3 Programas	372
	Institución educativa (2)	2 Programas	203
Acreditadas de Alta Calidad			
	Institución educativa (3)	5 Programas	1.263
	Institución educativa (4)	4 Programas	1.250
	Total		3.088

Fuente: MEN (Sistema Nacional de Información de Educación Superior - SNIES, Sistema para la Prevención de la Deserción en las IES - SPADIES, Observatorio, 2018.

Para realizar el análisis del estudio exploratorio de correlación de las variables, que se consideran críticas para la calidad de los *stakeholder* asociados a los programas de ingeniería, se relacionan a continuación los tipos de muestreo empleados en cada población encuestada, a través de los instrumentos diseñados para el estudio:

Estudiantes: muestreo por conglomerado. Se aplicó el instrumento a cursos que estaban conformados por estudiantes de diferentes programas de ingeniería a nivel pregrado en las instituciones de educación superior seleccionadas (90 encuestados).

Empresarios: muestreo aleatorio simple. Se aplicó el instrumento a estudiantes de posgrado, pertenecientes al sector empresarial y empresarios que tienen relación frecuente con las instituciones seleccionadas (21 encuestados).

Personal administrativo: muestreo por censo. Se aplicó el instrumento a todo el personal administrativo que está directamente relacionado con la prestación de servicio al interior de los programas de ingeniería en las instituciones seleccionadas (8 encuestados).

Profesores: muestreo aleatorio simple. Se aplicó el instrumento al personal de planta (tiempo completo y medio tiempo) y hora cátedra de las instituciones de educación superior seleccionadas (37 encuestados).

3.1.2 Identificación y selección de los procesos académicos y administrativos a ser analizados al interior de los programas.

La identificación de las variables asociadas a los criterios críticos de la calidad (CTQ) de los *stakeholders* se desagregó en procesos, subprocesos y actividades asociadas a las labores cotidianas de los programas de ingeniería en la atención de los servicios de los *stakeholders*, como se ilustra en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Clasificación de procesos académicos y administrativos.

PROCESO	SUBPROCESO	ACTIVIDADES	
1. Procesos asociados a los estudiantes	Subproceso admisiones aspirantes	Marketing	
		Gestión de canales de comunicación	
		Entrevista	
		Pago, gestión y seguimiento	
	Subproceso solicitudes y atención	Derechos de petición - tutelas	Retiro asignaturas
		Doble titulación	Inscripción materias
		Homologaciones	Segundo calificador
		Supletorios	Justificaciones asignaturas
		Habilitaciones	Aplazamientos
		Intercambio - movilidad Nacional e Internacional	Devoluciones
	Subproceso acompañamiento y seguimiento	Grados	
		Prácticas profesionales	
		Opción de grado	
		Normativo y rendimiento académico	
		Casos disciplinarios	
	Subproceso solicitudes y atención	Excusas	
		Actividades sociales	
	Subproceso acompañamiento y seguimiento	Reclamos de: clases, notas y/o profesores	

PROCESO	SUBPROCESO	ACTIVIDADES	
2. Procesos docentes	Subproceso contratación	Expedientes (CV, formato, soportes) Firma - Experiencias – Entrevista	
	Subproceso nómina docentes	Pago actividades adicionales	
	Subproceso atención	Cambio nota	Recepción actas
		Cambio salón	Solicitud espacios
		Gestiones parciales	
	Subproceso acompañamiento y seguimiento	Notas, fallas y contenidos	Gestión seguimiento docente
		Asistencia	
		Metodología	
		Alineamiento curricular	
	Subproceso solicitudes y atención	Salidas de campo y visitas	
		Charlas de invitados externos	
Omisión de clases			
3. Procesos sustantivos	Subproceso extensión	Cursos de Extensión	
	Subproceso investigación	Proyectos	
		Financiación	
		Seguimiento	
	Subproceso gestión programa	Financiero	
		Programación académica	
		Indicadores KPI'S	
		Deserción y capacidad	
		Imagen del programa	
		Auditorías	
		Registro calificado	
		Acreditaciones	
		Fuentes de medición	
Charlas de invitados externos			
Omisión de clases			

Fuente: autoría propia, 2020.

3.1.2 Identificación de las necesidades y variables que inciden en el cumplimiento de CTQ para la calidad

A partir de la clasificación de los procesos, subprocesos y actividades relacionadas con los servicios ofertados desde los programas de ingeniería, se logró la identificación de las necesidades de los *stakeholders*, al evidenciar las variables que inciden en el cumplimiento de sus necesidades.

Las relaciones entre las variables y los requerimientos críticos para la calidad se evidencian en las tablas de la tres a la seis, en las que se presentan los criterios críticos para la calidad (CTQ) y variables asociadas a los stakeholders profesores, estudiantes, administrativos y empresarios que ilustran la interacción de los CTQ por medio de los siguientes componentes en cada una:

- **N°:** es la numeración de las necesidades de los *stakeholders* (CTQ).
- **CTQ:** criterio crítico para la calidad.
- **Requerimiento técnico:** es la verbalización de la necesidad identificada desde los procesos de los programas de ingeniería.
- **Variable de estudio:** variables que inciden en el cumplimiento de las necesidades de los *stakeholders* asociados a los programas.
- **Relación entre CTQ de los Stakeholder:** relaciona los CTQ, entre los cuatro *stakeholders*, al cruzar el número de las necesidades de los *stakeholders* (N°) en cada tabla con las siguientes convenciones para su identificación: profesores (**PR**), estudiantes (**ES**), personal administrativo (**AD**), empresario (**EM**).

3.1.2.1 Profesores

Tabla 3. Criterios Críticos para la Calidad (CTQ) y variables asociadas a los profesores.

N°	CTQ	Requerimiento Técnico	Variable en estudio	Relación entre CTQ de los stakeholder
1	Estabilidad laboral	Tipo de contrato	Tiempo	ES (1)
2	Crecimiento profesional	Escalonamiento / ascenso	Dinero / cargo estructura organizacional	ES (1) AD (2) EM (3)
3	Buena remuneración	Estudio y compensación salarial	Dinero	ES (1) EM (3)
4	Baja carga administrativa	Automatización de labores administrativas	Tiempo	ES (1) AD (4)
5	Respaldo por parte de las directivas	Imparcialidad en decisiones	Justicia	ES (19) AD (7)
6	Cursos equilibrados en la cantidad de estudiantes	Cantidad de estudiantes por curso o docente	Estudiantes	ES (13)
7	Distribución de horarios	Carga académica	Horas clase (Cambios)	ES (8) (20)
8	Carga docente	Equilibrio entre funciones sustantivas (Investigación, docencia y extensión)	Porcentaje	ES (1) (4)
9	Reconocimiento labor	Evaluación docente	Pertinencia	AD (6)
10	Pago actividades adicionales	Compensación salarial	Dinero / especie	AD (7)
11	Soporte administrativo y logístico	Soporte tecnológico Soporte administrativo Soporte legal Soporte médico Soporte financiero	Tiempo respuesta	ES (13) AD (8)
12	Atención a requerimientos o solicitudes	Tiempo de respuesta a requerimientos	Tiempo	AD (9) (1) ES (17) (11)
13	Contar con tiempo de planeación de las clases	Tiempo preparación de clases	Tiempo	ES (6)
14	Realimentación evaluación docente	Tiempo de respuesta Claridad en la oportunidad de mejora	Tiempo Calidad Información	ES (1) (4) (10)
15	Buen trato	Clima laboral	Calidad	AD (11) ES (5)

N°	CTQ	Requerimiento Técnico	Variable en estudio	Relación entre CTQ de los stakeholder
16	Reglas claras de juego	Aplicación de reglamentos Mecanismos de registro de acuerdos ANS	Cantidad veces Satisfacción	AD (12) ES (7)
17	Uso de diversas estrategias en clase	Estrategias pedagógicas	Cantidad	ES (2)
18	Diferentes tipos de evaluación	Estrategias de evaluación	Cantidad	ES (3)

Fuente: autoría propia, 2020.

3.1.2.2 Estudiantes

Tabla 4. Criterios Críticos para la Calidad (CTQ) y variables asociadas a los estudiantes.

N°	CTQ	Requerimiento técnico	Variable en estudio	Relación entre CTQ de los stakeholder
1	Calidad de las clases	Calidad pedagógica	Satisfacción	PR(1) (3) (4) PR (14)
2	Uso de diversas estrategias en clase	Estrategias pedagógicas	Cantidad	PR(19)
3	Diferentes tipos de evaluación	Estrategias de evaluación	Cantidad	PR(20)
4	Buenos profesores	Calidad de los docentes	Calidad	PR(1) (2) (3) (4) (14)
5	Buen trato	Calidad del servicio	Calidad	PR(15) AD(11)
6	Clases planificadas	Organización y planeación clases	Satisfacción	PR (13)
7	Reglas claras de juego	Aplicación de Reglamentos Mecanismos de registro de acuerdos Acuerdo de nivel de servicio	Cantidad veces Satisfacción	PR (16) AD (12)
8	Buena distribución de horarios	Diseño malla curricular	Calidad	PR(7)
9	Poder seleccionar asignaturas al matricular asociadas al sector empresarial	Flexibilidad curricular (materias)	Cantidad	EM (4) (5)

N°	CTQ	Requerimiento técnico	Variable en estudio	Relación entre CTQ de los stakeholder
10	Realimentación de las evaluaciones	Tiempo de respuesta de las evaluaciones	Tiempo	PR (14)
11	Prontitud de respuesta a solicitudes	Tiempo de respuesta trámites administrativos	Tiempo	PR (12) AD (9) (11)
12	Actualidad en los temas desarrollados en las clases y en la carrera	Internacionalización curricular Actualización malla curricular (Cada cuanto)	Calidad Tiempo	EM (2)
13	Buenos espacios para el aprendizaje	Cantidad estudiantes por clase – docente	Cantidad	PR (6)
14	Interacción con el sector empresarial	Salidas (visitas empresariales, recorridos, etc.) Charlas, conferencias y/o congresos Cantidad convenios empresariales	Cantidad Frecuencia Cantidad	EM (1) (4)
15	Facilidades a la hora de graduarse	Doble titulación Coterminal Opciones de grado	Cantidad Cantidad Cantidad	EM (6) (7)
16	Poder realizar intercambios	Intercambio Movilidad Nacional e Internacional (Convenios)	Cantidad	EM (1) (4) (5)
17	Atención a requerimientos o solicitudes	Canales de comunicación Tiempos de respuesta	Cantidad Tiempo	PR (12)
18	Posicionamiento de la Universidad y del Programa	Acreditaciones	Cantidad	EM (1) (6)
19	Respaldo por parte de las directivas	Imparcialidad en decisiones	Justicia	PR (5) AD (7)
20	Distribución de horarios	Carga académica	Horas clase (Cambios)	PR (7)

Fuente: autoría propia, 2020.

3.1.2.3 Administrativos

Tabla 5. Criterios Críticos para la Calidad (CTQ) y variables asociadas a los administrativos.

Nº	CTQ	Requerimiento técnico	Variable en estudio	Relación entre CTQ de los stakeholder
1	Estabilidad laboral	Tipo de contrato	Tiempo	PR (1)
2	Crecimiento profesional	Escalonamiento / ascenso	Dinero / cargo estructura organizacional	PR (2)
3	Buena remuneración	Estudio y compensación salarial	Dinero	PR (3)
4	Calibración de carga administrativa	Estudios de cargas laborales	Tiempo	PR (4)
5	Respaldo por parte de las directivas	Imparcialidad en decisiones los stakeholders	Justicia	PR (5) ES (19)
6	Reconocimiento labor	Evaluación docente	Metodología docente	PR (9)
7	Pago actividades adicionales	Compensación salarial	Dinero / especie	PR (10)
8	Soporte administrativo y logístico	Soporte tecnológico Soporte administrativo Soporte legal Soporte médico Soporte financiero	Tiempo respuesta	ES (13) PR (11)
9	Atención a requerimientos o solicitudes	Tiempo de respuesta a requerimientos	Tiempo	PR(12) ES (17) (11)
11	Buen trato	Clima laboral	Calidad	PR (15) ES (5)
12	Reglas claras de juego	Aplicación de reglamentos Mecanismos de registro de acuerdos Acuerdos de nivel de servicio	Cantidad veces Satisfacción	PR (16) ES (7)

Fuente: autoría propia, 2020.

3.1.2.4 Empresarios

Tabla 6. Criterios Críticos para la Calidad (CTQ) y variables asociadas a los empresarios.

N°	CTQ	Requerimiento Técnico	Variable en Estudio	Relación entre CTQ de los Stakeholder
1	Interacción con el sector académico	Salidas (visitas empresariales, recorridos, etc.) Charlas, conferencias y/o congresos Cantidad convenios empresariales	Cantidad Frecuencia Cantidad	ES (14) (16) (18)
2	Actualidad en los temas desarrollados en las clases y en la carrera	Internacionalización curricular Actualización malla curricular (periodicidad)	Calidad Tiempo	ES (12)
3	Docentes pertenecientes al sector empresarial	Cantidad de docentes hora cátedra provenientes sector empresarial	Cantidad Porcentaje participación	PR (2) (3)
4	Mayor interacción estudiantes, docentes y administrativos con las empresas	Nivel de participación de las empresas en el aprendizaje (en las materias)	Porcentaje	ES (9) (14) (16)
5	Abrir más espacios para prácticas y experiencia con las empresas.	Prácticas empresariales (cantidad y momentos)	Cantidad Porcentaje participación	ES (9) (16)
6	Desarrollo de I+D+I conjuntamente con la academia	Participación en investigación de las empresas	Porcentaje	ES (15) (18)
7.	Disminuir brecha de adaptación de estudiantes al sector empresarial	Porcentaje adherencia de los egresados a las empresas Porcentaje adherencia de los estudiantes en prácticas a las empresas	Porcentaje Porcentaje	ES (15) ES (15)

Fuente: autoría propia, 2020.

3.2 Medir (M) y analizar (A)

En estas dos etapas se desarrolló la medición y análisis de la correlación entre las variables asociadas a los criterios críticos para la calidad (CTQ) de los *stakeholders* de los programas de ingeniería.

3.2.1 Medición de la correlación entre las variables asociadas a los criterios críticos para la calidad (CTQ)

Para realizar la medición de las variables se diseñaron cuatro instrumentos de captura de información; uno por cada *stakeholder*. La construcción de las preguntas de los formularios se diseñó con el objetivo de poder evaluar la correlación entre las variables identificadas en los procesos académicos y administrativos de los programas. Esto por medio del grado de percepción de cumplimiento de los criterios críticos de la calidad de los programas; y para validar la hipótesis que el hecho de estar acreditada con alta calidad le permite a una institución de educación superior cumplir en alto grado de satisfacción (mayor a un 85%) las variables asociadas a la calidad.

3.2.2 Análisis obtenido de la correlación de las variables en estudio

Se realizó el análisis cuantitativo por medio del coeficiente de correlación Pearson. En todas las pruebas de hipótesis planteadas se utilizó un nivel de confianza $\alpha=0,05$, para medir la fuerza y la dirección de las variables asociadas a los criterios críticos en la calidad de los programas de ingeniería, al obtener una distribución bivariada conjunta.

Para la interpretación de resultados obtenidos de las correlaciones se tuvieron en cuenta los siguientes rangos de interpretación:

- Igual a 0: no existe correlación
- Entre [0,1 y 0,2]: correlación mínima
- Entre (0,2 y 0,4]: correlación baja
- Entre (0,4 y 0,6]: correlación moderada
- Entre (0,6 y 0,8] correlación buena
- Entre (0,8 y 1]: correlación alta

Nota: la correlación marcada con un asterisco (*) es una correlación significativa en el nivel 0,05 (bilateral); y la correlación marcada con dos asteriscos (**) es significativa en el nivel 0,01 (bilateral), por lo

que estaría indicando que existe una fuerte correlación y que es una correlación encontrada por el estadístico de Pearson.

3.2.2.1 Presentación del análisis de las correlaciones del estudio exploratorio

1. Variable: **Clima Organizacional** (mide el criterio de percepción del clima organizacional entre estudiantes, personal administrativo y profesores como se ilustra en la **Tabla 7**, a través del análisis de la correlación de Pearson.)

Tabla 7. Correlación de la variable de Clima Organizacional.

		Profesores	Estudiantes	Administrativos
Profesores	Correlación de Pearson	1	0,917**	0,887
	Sig. (bilateral)		0,004	0,305
	N	7	7	3
Estudiantes	Correlación de Pearson	0,917**	1	0,999*
	Sig. (bilateral)	0,004		0,030
	N	7	7	3
Administrativos	Correlación de Pearson	0,887	,999*	1
	Sig. (bilateral)	0,305	0,030	
	N	3	3	3
** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).				
* . La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).				

Fuente: autoría propia y 2020.

En la variable “*Clima Organizacional*” se puede analizar que la correlación es altamente significativa en el nivel 0,01 (bilateral) entre los **profesores** y **estudiantes** con un valor de 0,917, ya que está entre (0,8 y 1] y es directa por ser positiva (+).

El 83,3% de los profesores contestaron con un grado de percepción entre 8-10 (10 es la mejor calificación y 1 la peor calificación en la escala evaluada) con relación a la pregunta asociada a la variable “*Clima Organizacional*” que era: “*En una escala de 1-10 (1 tóxico y 10 un lugar*

para recomendar trabajar o estudiar por su clima organizacional)”, el 75,0% del personal administrativo respondió con un grado de percepción entre 8-10 a la misma pregunta y, finalmente, un 83,9% de los estudiantes tienen un grado de percepción entre 8-10.

Se evidencia que las instituciones analizadas en el estudio presentan un buen clima laboral entre estudiantes, profesores y personal administrativo y que existe una alta correlación entre la valoración de la variable “Clima Organizacional” por parte de los estudiantes y los profesores, con la claridad de que el profesor es el prestador del servicio directo al estudiante (cliente del servicio académico). Por lo que se resalta la importancia de mantener un buen clima laboral para satisfacer la percepción de calidad en el buen servicio.

2. Variable: **Justicia** (mide el criterio de percepción del respaldo e imparcialidad por parte de las directivas de la universidad ante situaciones asociadas con estudiantes, profesores y/o personal administrativo, como se ilustra en la **Tabla 8**, a través del análisis de la correlación de Pearson.)

Tabla 8. Correlación de la variable de Justicia.

		Profesores	Estudiantes	Administrativos
Profesores	Correlación de Pearson	1	0,424	1,000**
	Sig. (bilateral)		0,343	0,000
	N	7	7	3
Estudiantes	Correlación de Pearson	0,424	1	-0,814
	Sig. (bilateral)	0,343		0,394
	N	7	9	3
Administrativos	Correlación de Pearson	1,000**	-0,814	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,394	
	N	3	3	3

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: autoría propia y 2020.

En la variable “*Justicia*” se puede analizar que la correlación es altamente significativa en el nivel 0,01 (bilateral) entre los **profesores** y **administrativos** con un valor de 1,00, ya que está entre (0,8 y 1] y es directa por ser (+).

Con relación a la pregunta asociada a la medición de la variable (*Justicia*) “*En una escala de 1-10 (1 muy sesgado (con preferencias) y 10 muy imparcial) seleccionar su criterio de percepción del respaldo por parte de las directivas de la universidad ante situaciones asociadas con el personal de la institución (estudiantes, profesores, personal administrativo, etc.)*”. El 36,1% de los profesores contestaron con un criterio de percepción igual o inferior a cinco (10 es la mejor calificación y 1 la peor calificación en la escala evaluada); y a la misma pregunta el 50% del personal administrativo respondió con un criterio de percepción igual o inferior a cinco y el 21,8% de los estudiantes contestaron un criterio de percepción igual o inferior a cinco.

Se infiere que el personal administrativo percibe un criterio de justicia negativo. Generado por el sesgo en las decisiones que favorecen a otros interlocutores al momento de presentarse situaciones asociadas con los *stakeholders* de los programas.

3. Variable: *Pertinencia Evaluación* (mide el criterio de percepción de la calidad de las clases, por medio de mecanismos como la evaluación docente, como se ilustra en la **Tabla 9**, a través del análisis de la correlación de Pearson).

Tabla 9. Correlación de la variable de Evaluación.

		Criterio de percepción de la evaluación docente	Criterio de percepción de la calidad de las clases en promedio que ha cursado	Criterio de percepción de la calidad en promedio de los docentes	Criterio de percepción de la planeación de las clases en promedio de los docentes	Criterio tiempo de respuesta promedio en la atención de requerimiento o solicitudes
		Profesores	Estudiantes	Estudiantes	Estudiantes	Estudiantes
			Pregunta (E1)	Pregunta (E2)	Pregunta (E3)	Pregunta (E4)
Profesores	Correlación de Pearson	1	0,172	0,438	0,650	0,574
	Sig. (bilateral)		0,684	0,325	0,081	0,106
	N	9	8	7	8	9
Estudiantes Pregunta (E1)	Correlación de Pearson	0,172	1	0,863*	0,633	,802*
	Sig. (bilateral)	0,684		0,012	0,127	0,017
	N	8	8	7	7	8
Estudiantes Pregunta (E2)	Correlación de Pearson	0,438	0,863*	1	0,875**	0,785*
	Sig. (bilateral)	0,325	0,012		0,010	0,037
	N	7	7	7	7	7
Estudiantes Pregunta (E3)	Correlación de Pearson	0,650	0,633	0,875**	1	0,866**
	Sig. (bilateral)	0,081	0,127	0,010		0,005
	N	8	7	7	8	8
Estudiantes Pregunta (E4)	Correlación de Pearson	0,574	0,802*	0,785*	0,866**	1
	Sig. (bilateral)	0,106	0,017	0,037	0,005	
	N	9	8	7	8	10
*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).						
**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).						

Fuente: autoría propia, 2020.

La variable “*Pertinencia Evaluación*” permite analizar que la correlación es altamente significativa en el nivel 0,01 (bilateral) entre las preguntas de **estudiantes (E2)**: “*En una escala de 1-10 (1 no aportan al crecimiento profesional ni al personal y 10 excelentes) seleccionar su criterio de percepción de la calidad en promedio de los docentes*”; y **estudiantes (E3)**: “*En una escala de 1-10 (1 no se evidencia planificación y 10 excelente planeación) seleccionar su criterio de percepción de la planeación de las clases en promedio de los docentes*”, con un valor de 0,875, ya que está entre (0,8 y 1] y es directa por ser positiva (+).

En la variable “*Pertinencia Evaluación*” también se evidencia una correlación altamente significativa en el nivel 0,01 (bilateral) entre las preguntas de **estudiantes (E3)**: “*En una escala de 1-10 (1 no se evidencia planificación y 10 excelente planeación) seleccionar su criterio de percepción de la planeación de las clases en promedio de los docentes*”; y la pregunta **estudiantes (E4)**: “*En una escala de 1-10 (1 muy demorado y 10 muy rápido) seleccionar su percepción del tiempo de respuesta promedio en la atención de requerimiento o solicitudes*”. Se obtuvo un valor de 0,866, ya que está entre (0,8 y 1] y es directa por ser positiva (+).

Lo anterior permite evidenciar que el 79,3% de los estudiantes contestaron con un criterio de percepción entre 8 y 10 (10 es la mejor calificación y 1 la peor calificación en la escala evaluada) a la pregunta **(E2)**, que está asociada al criterio de percepción de la calidad en promedio de los docentes. Lo que refleja un alto grado de cumplimiento de calidad en el personal docente.

Adicionalmente, un 80,5% de los estudiantes contestaron entre 8 y 10 (10 es la mejor calificación y 1 la peor calificación en la escala evaluada) a la pregunta **(E3)**, que está asociada al criterio de percepción acerca de la planeación de las clases por parte de los docentes.

4. Variable: *Compensación* (mide el criterio de percepción de la remuneración por ejecutar actividades adicionales fuera del plan de trabajo inicial acordado, como se ilustra en la **Tabla 10**, a través del análisis de la correlación de Pearson).

Tabla 10. Correlación de la variable de Compensación.

		Profesores	Administrativos
Profesores	Correlación de Pearson	1	1,000**
	Sig. (bilateral)		
	N	2	2
Administrativos	Correlación de Pearson	1,000**	1
	Sig. (bilateral)		
	N	2	2

** La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Fuente: autoría propia, 2020.

La variable “*Compensación*” permite analizar que la correlación es altamente significativa en el nivel 0,01 (bilateral) entre los **profesores** y **administrativos** con un valor de 1,00, ya que está entre (0,8 y 1] y es directa por ser positiva (+).

Con relación a la pregunta asociada a la variable (*Compensación*): “¿Cuándo usted ejecuta actividades adicionales (fuera del plan de trabajo inicial acordado) usted recibe pago por las actividades adicionales?” El 33,3% de los profesores contestaron “sí” y el 66,7% respondieron “no”. El 25,0% del personal administrativo respondió “sí” y el 75,0% “no”. Lo que permite inferir que a la mayoría de los docentes no se les remunera (especie/dinero) por actividades adicionales fuera de su plan de trabajo. Contrario al caso del personal administrativo a quienes sí se les remunera por estas labores. Para los profesores y personal administrativos que contestaron “sí”, su compensación fue en dinero. No se evidencia pagos en especie.

5. Variable: *Tiempo de Respuesta* (mide el criterio de percepción del tiempo de respuesta promedio del soporte administrativo y logístico por parte de la universidad a solicitudes internas de los programas de ingeniería, como se ilustra en la **Tabla 11**, a través del análisis de la correlación de Pearson).

Tabla 11. Correlación de la variable de Tiempo Respuesta Solicitudes.

		Profesores	Administrativos
Profesores	Correlación de Pearson	1	0,599
	Sig. (bilateral)		0,401
	N	9	4
Administrativos	Correlación de Pearson	0,599	1
	Sig. (bilateral)	0,401	
	N	4	4

Fuente: autoría propia, 2020.

La variable “*Tiempo de Respuesta*” permite analizar que la correlación es moderada entre los **profesores** y **administrativos** con un valor de 0,599 (está entre el rango (0,4-6]) y es una relación directa positiva (+).

Con relación a la pregunta: “*En una escala de 1-10 (1 muy demorado y 10 muy rápido) seleccionar su percepción del tiempo de respuesta promedio del soporte administrativo y logístico por parte de la Universidad*”. El 55,6 % de los profesores contestaron entre 8 y 10 (10 es la mejor calificación y 1 la peor calificación en la escala evaluada); y a la misma pregunta, los administrativos respondieron 75,0% con un criterio de percepción entre 8 y 10. Lo que permite inferir que las solicitudes de soporte administrativo y logístico para el correcto desarrollo de los procesos de los programas de ingeniería por parte de la universidad son eficientes.

6. Variable: *Satisfacción con los Procedimientos* (mide el criterio de percepción de pertinencia de los manuales de reglamento de la institución y actas de acuerdos entre estudiantes, profesores y/o administrativos, como se ilustra en la **Tabla 12**, a través del análisis de la correlación de Pearson).

Tabla 12. Correlación de la variable Satisfacción con los Procedimientos.

		Profesores	Estudiantes	Administrativos
Profesores	Correlación de Pearson	1	,757*	0,802
	Sig. (bilateral)		0,030	0,103
	N	9	8	5
Estudiantes	Correlación de Pearson	,757*	1	0,559
	Sig. (bilateral)	0,030		0,327
	N	8	9	5
Administrativos	Correlación de Pearson	0,802	0,559	1
	Sig. (bilateral)	0,103	0,327	
	N	5	5	5

*. La correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral).

Fuente: autoría propia y 2020.

La variable “*Satisfacción con los procedimientos*” permite analizar que la correlación entre los **profesores** y **estudiantes** es significativa en el nivel 0,05 (bilateral), con valor de 0,757 es una correlación buena, ya que está entre (0,6 y 0,8] y es directa por ser positiva (+).

Con relación a la pregunta asociada a la variable en estudio: “*En una escala de 1-10 (1 no son nada útiles y no se gestionan y 10 son de mucha utilidad y se gestionan) seleccionar su criterio de percepción de los manuales de reglamento de la institución y actas de acuerdos (estudiantes, profesores y/o administrativas)*”. Se evidenció que el 52,8 % de los profesores contestaron con un criterio de percepción entre 8 y 10 de la escala, al igual que el 50,0% de los administrativos y el 67,8% de los estudiantes. Lo que permite evidenciar una oportunidad de mejora de los procedimientos relacionados con los manuales y acuerdos entre los *stakeholders*.

7. Variable: *Pedagogía* (mide el criterio de percepción del uso diverso de estrategias pedagógicas a lo largo del semestre diseñadas por parte de los profesores (casos estudio, talleres, exposiciones, videos, presentaciones, invitados), como se ilustra en la **Tabla 13**, a través del análisis de la correlación de Pearson).

Tabla 13. Correlación de la variable Pedagogía.

		Profesores	Estudiantes
Profesores	Correlación de Pearson	1	0,692
	Sig. (bilateral)		0,128
	N	6	6
Estudiantes	Correlación de Pearson	0,692	1
	Sig. (bilateral)	0,128	
	N	6	7

Fuente: autoría propia y 2020.

La variable “*Pedagogía*” permite analizar que la correlación entre los *stakeholders* **profesores** y **administrativos** es moderada con un valor de 0,692, ya que está entre el rango de (0,4 y 0,6] y es directa por ser positiva (+).

Con relación a la pregunta: “¿Usted frecuentemente a lo largo del semestre utiliza diversas estrategias pedagógicas en la clase (casos estudio, talleres, exposiciones, videos, presentaciones, invitados, etc.)? Seleccionar el rango acorde a su respuesta”. Se evidenció que el 55,6 % de los profesores contestó que utiliza variadas estrategias pedagógicas en más del 51% del total de las clases. A la misma pregunta, el 56,3% de los estudiantes estuvieron de acuerdo en este aspecto. Lo que permite inferir que aproximadamente el 50% de los docentes emplean diversas estrategias pedagógicas a lo largo del semestre.

8. Variable: *Evaluación* (mide el criterio de percepción del uso diverso de estrategias de evaluación a lo largo del semestre diseñadas por parte de los profesores (casos estudio, talleres, exposiciones, videos, presentaciones, invitados, etc.), como se ilustra en la **Tabla 14**, a través del análisis de la correlación de Pearson).

Tabla 14. Correlación de la variable Evaluación.

		Profesores	Estudiantes
Profesores	Correlación de Pearson	1	0,548
	Sig. (bilateral)		0,339
	N	5	5
Estudiantes	Correlación de Pearson	0,548	1
	Sig. (bilateral)	0,339	
	N	5	6

Fuente: autoría propia, 2020.

La variable “Evaluación” permite analizar que la correlación es moderada entre los *stakeholders* **profesores** y **administrativos** con un valor de 0,548, ya que está entre el rango de (0,4 y 0,6] y es directa por ser positiva (+).

Con relación a la pregunta: “¿Usted a lo largo del semestre percibe el uso de diversas estrategias de evaluación por parte de los profesores (proyectos, parciales, exposiciones, bonos, etc.)? Seleccionar el rango acorde a su respuesta”. El 69.4% de los profesores contestó que usa estas estrategias en un 51% del total de las clases. A la misma pregunta, el 65,5% de los estudiantes contestaron que en más del 51% de las unidades de estudios se usan diversas estrategias de evaluación. En comparación con la variable de “Pedagogía”, esta variable de “Evaluación” tiene un mayor porcentaje de percepción en el uso de diversas formas de evaluar, pero su porcentaje no supera un 70%. Lo que permite evidenciar una oportunidad de mejora en innovación de los mecanismos para evaluar a los estudiantes.

9. Variable: *Relación Sector Empresarial* (mide el criterio de percepción del componente de interacción con el sector empresarial, como se ilustra en la **Tabla 15**, a través del análisis de la correlación de Pearson).

Tabla 15. Correlación de la variable Relación Sector Empresarial.

		Estudiantes	Empresarios
Estudiantes	Correlación de Pearson	1	-0,020
	Sig. (bilateral)		0,966
	N	9	7
Empresarios	Correlación de Pearson	-0,020	1
	Sig. (bilateral)	0,966	
	N	7	8

Fuente: autoría propia, 2020.

A la pregunta realizada a los estudiantes: “En una escala de 1-10 (1 nada pertinente y 10 muy pertinente) seleccionar su criterio de percepción del componente de interacción con el sector empresarial al percibir que en las materias se trabajan temas de actualidad y tendencia de la carrera”; y con relación a la pregunta realizada a los empresarios: “En una escala de 1-10 (1 nula y 10 gran sinergia y trabajo conjunto) seleccionar su criterio de percepción del nivel de participación de las empresas en el aprendizaje de los estudiantes en las universidades”. Se evidencia que no existe correlación. Lo que genera una brecha entre el sector empresarial y el sector académico.

4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la muestra piloto de instituciones de educación superior evidenciaron las variables que inciden en el cumplimiento de las necesidades de los diferentes grupos de interés de los programas de ingeniería a nivel de pregrado.

Las variables con incidencia significativa en los *stakeholders* del estudio son:

Clima Organizacional: criterio CTQ de percepción del clima organizacional entre estudiantes, personal administrativo y profesores.

Justicia: criterio CTQ de percepción del respaldo e imparcialidad por parte de las directivas de la universidad ante situaciones asociadas con estudiantes, profesores y/o personal administrativo.

Pertinencia Evaluación: criterio CTQ de percepción de la calidad de las clases a través de mecanismos como la evaluación docente.

Compensación: criterio CTQ de percepción de la remuneración por ejecutar actividades adicionales fuera del plan de trabajo inicial acordado.

Tiempo de Respuesta: criterio CTQ de percepción del tiempo de respuesta promedio del soporte administrativo y logístico por parte de la universidad.

Satisfacción con los procedimientos: criterio CTQ de percepción de pertinencia de los manuales de reglamento de la institución y actas de acuerdos entre estudiantes, profesores y/o administrativos.

Pedagogía: criterio CTQ de percepción del uso diverso de estrategias pedagógicas a lo largo del semestre en clase por parte de los profesores (casos estudio, talleres, exposiciones, videos, presentaciones, invitados).

Evaluación: criterio CTQ de percepción del uso diverso de estrategias de evaluación a lo largo del semestre en clase por parte de los profesores (casos estudio, talleres, exposiciones, videos, presentaciones, invitados).

Relación Sector Empresarial: criterio CTQ de percepción del componente de interacción con el sector empresarial.

En el análisis de las variables que inciden en el cumplimiento de las necesidades de los diferentes grupos de interés se evidenció que la mayoría de las variables (6 de las 9), por parte de estudiantes, profesores y administrativos, muestran un mayor grado de percepción de cumplimiento por parte de las instituciones acreditadas: *Clima Organizacional*, *Justicia (estudiantes y profesores)*, *Compensación*, *Satisfacción con los procedimientos*, *Pedagogía* y *Evaluación*.

Las variables de *Pertinencia Evaluación* y *la de Justicia (personal administrativo)*, muestran mayor grado de percepción de cumplimiento por parte de las instituciones no acreditadas.

La percepción de cumplimiento a la calidad de las clases (E1), al criterio de calidad de los docentes (E2) y al criterio de planeación de las clases (E3), los estudiantes valoraron mejor a las instituciones acreditadas.

Se evidencia que en la variable de “*Tiempo de Respuesta*” la percepción de los profesores de instituciones acreditadas y no acreditadas es igual y positiva para los dos grupos.

En las tablas de la dieciséis a veintitrés se presentan los resultados obtenidos del análisis de las variables, por medio de la comparación entre las instituciones de educación superior acreditadas de alta calidad y las no acreditadas, al discriminar los porcentajes obtenidos por cada uno de los stakeholders en estudio.

4.1 Análisis de la variable: Clima Organizacional

Tabla 16. Clima Organizacional.

Variable:

1. Clima Organizacional	Profesores		Estudiantes		Administrativos	
	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5
No Acreditadas en Alta Calidad	36%	5,6%	21%	3,4%	13%	0,0%
Acreditadas en Alta Calidad	47%	5,6%	63%	4,6%	63%	0,0%
Total general	83,3%	11,1%	83,9%	8,0%	75,0%	0,0%

Fuente: autoría propia, 2020.

En la variable de clima organizacional se mide el criterio de percepción del ambiente laboral y estudiantil entre estudiantes, personal administrativo y profesores. Se evidencia un mayor grado de percepción de cumplimiento por parte de las instituciones acreditadas en alta calidad (Porcentajes resaltados en la tabla 16).

4.2 Análisis de la variable: Justicia

Tabla 17. Justicia.

Variable:

2. Justicia	Profesores		Estudiantes		Administrativos	
	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5
No Acreditadas en Alta Calidad	19%	19,4%	9%	6,9%	13%	0,0%
Acreditadas en Alta Calidad	33%	16,7%	45%	14,9%	38%	50,0%
Total general	52,8%	36,1%	54,0%	21,8%	50,0%	50,0%

Fuente: autoría propia, 2020.

La variable de justicia mide el criterio de percepción del respaldo e imparcialidad por parte de las directivas de la universidad ante situaciones asociadas con estudiantes, profesores y/o personal administrativo.

Se evidencia en esta variable un mayor grado de percepción de cumplimiento por parte de los profesores y estudiantes de las instituciones acreditadas en alta calidad (los porcentajes resaltados en la tabla 17). Este nivel de satisfacción es más bajo en el grupo de personal administrativo. Se ubica mayoritariamente en el rango de 1 a 5. Lo que es contrario a la percepción de las instituciones no acreditadas, al tener un porcentaje de respuestas de 0% en este rango.

4.3 Análisis de la variable: Pertinencia Evaluación

Tabla 18. Pertinencia de Evaluación.

Variable:

3. Pertinencia de Evaluación	Profesores		Estudiantes (E1)		Estudiantes (E2)		Estudiantes (E3)		Estudiantes (E4)	
	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5
No Acreditadas en Alta Calidad	36%	5,6%	15%	1,1%	21%	0,0%	21%	1,1%	10%	10,3%
Acreditadas en Alta Calidad	28%	16,7%	46%	8,0%	59%	2,3%	60%	4,6%	45%	13,8%
Total general	63,9%	22,2%	60,9%	9,2%	79,3%	2,3%	80,5%	5,7%	55,2%	24,1%

Fuente: autoría propia y 2020.

La variable de pertinencia en la evaluación mide el criterio de percepción de la calidad de las clases a través de mecanismos como la evaluación docente.

Se evidencia en esta variable un mayor grado de percepción de cumplimiento del criterio por parte de los profesores de las instituciones no acreditadas de alta calidad (porcentajes resaltados en la tabla 18).

Sin embargo, con relación a la percepción de cumplimiento en la calidad de las clases (E1), la calidad de los docentes (E2), planeación de las clases (E3), y tiempo de respuesta (E4), es mejor por parte de los estudiantes de las instituciones acreditadas, puesto que el mayor porcentaje se ubica en el rango entre 8-10 de la escala evaluada.

4.4 Análisis de la variable: Compensación

Tabla 19. Compensación.

Variable:

4. Compensación	Profesores		Administrativos	
	SÍ	NO	SÍ	NO
No Acreditadas en Alta Calidad	6%	36,1%	0%	12,5%
Acreditadas en Alta Calidad	28%	30,6%	25%	62,5%
Total general	33,3%	66,7%	25,0%	75,0%

Fuente: autoría propia y 2020.

La variable de compensación mide el criterio de percepción de la remuneración por ejecutar actividades adicionales fuera del plan de trabajo inicialmente acordado.

Se evidencia un mayor grado de percepción de pago por labores adicionales a las descritas en el plan de trabajo, tanto para profesores como para administrativos en las instituciones acreditadas.

4.5 Análisis de la variable: Tiempo de Respuesta

Tabla 20. Tiempo de Respuesta.

Variable:

5. Tiempo de Respuesta	Profesores		Administrativos	
	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5
No Acreditadas en Alta Calidad	28%	8,3%	0%	0,0%
Acreditadas en Alta Calidad	28%	16,7%	75%	0,0%
Total general	55,6%	25,0%	75,0%	0,0%

Fuente: autoría propia 2020.

La variable de tiempo de respuesta mide el criterio de percepción del tiempo de respuesta promedio del soporte administrativo y logístico por parte de la universidad.

Para el grupo de profesores, la percepción de tiempo de respuesta, en el rango alto (respuesta rápida), es similar para instituciones acreditadas y no acreditadas. Sin embargo, en el rango inferior (respuesta lenta), es más bajo el porcentaje de insatisfacción de los profesores de las

universidades no acreditadas. Para el personal administrativo se evidencia un alto porcentaje de satisfacción en los tiempos de respuesta por parte de las instituciones acreditadas, (Porcentajes resaltados en la tabla 20).

4.6 Análisis de la variable: Satisfacción con los procedimientos

Tabla 21. Satisfacción con los procedimientos.

Variable:

6. Satisfacción con los procedimientos	Profesores		Estudiantes		Administrativos	
	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5	Rango de 8-10	Rango de 1-5
No Acreditadas en Alta Calidad	22%	5,6%	13%	5,7%	0%	0,0%
Acreditadas en Alta Calidad	31%	16,7%	55%	9,2%	75%	0,0%
Total general	52,8%	22,2%	67,8%	14,9%	75,0%	0,0%

Fuente: autoría propia y 2020.

La variable de satisfacción con los procedimientos mide el criterio de percepción de pertinencia de los manuales de reglamento de la institución y actas de acuerdos entre estudiantes, profesores y/o administrativos.

Se evidencia en esta variable que para los profesores, estudiantes y administrativos existe un mayor porcentaje de acuerdo con el criterio de pertinencia con los procedimientos, manuales de reglamento de la institución y actas de acuerdos en las instituciones acreditadas con alta calidad, (Porcentajes de resaltados en la tabla 21).

4.7 Análisis de la variable: Pedagogía

Tabla 22. Pedagogía.

Variable:

7. Pedagogía	Profesores		Estudiantes	
	Rango Superior al 51%	Rango Inferior al 51%	Rango Superior al 51%	Rango Inferior al 51%
No Acreditadas de Alta Calidad	22%	19,4%	18%	6,9%
Acreditadas de Alta Calidad	33%	25,0%	38%	24,1%
Total general	55,6%	44,4%	56,3%	31,0%

Fuente: autoría propia y 2020.

La variable pedagogía mide el criterio de percepción del uso diverso de estrategias pedagógicas en clase por parte de los profesores, a lo largo del semestre (casos estudio, talleres, exposiciones, vídeos, presentaciones, invitados).

Se evidencia en esta variable que tanto profesores como estudiantes de las instituciones acreditadas con alta calidad reconocen que hay un mayor uso de diversas estrategias pedagógicas.

4.8 Análisis de la variable: Evaluación

Tabla 23. Evaluación.

Variable:

8. Evaluación	Profesores		Estudiantes	
	Rango Superior al 51%	Rango Inferior al 51%	Rango Superior al 51%	Rango Inferior al 51%
No Acreditadas de Alta Calidad	33%	8,3%	22%	3,4%
Acreditadas de Alta Calidad	36%	16,7%	44%	16,1%
Total general	69,4%	25,0%	65,5%	19,5%

Fuente: autoría propia y 2020.

La variable de evaluación mide el criterio de percepción del uso diverso de estrategias de evaluación por parte de los profesores a lo largo

del semestre (casos estudio, talleres, exposiciones, vídeos, presentaciones, invitados).

Al igual que en el caso anterior, se evidencia por parte de profesores y estudiantes de las instituciones acreditadas un mayor uso de diversas estrategias de evaluación.

5. DISCUSIONES

El estudio exploratorio presentó las variables asociadas a los criterios de calidad (CTQ) que inciden directamente en los *stakeholders* de los programas de pregrado en ingeniería de la muestra piloto.

El estudio exploratorio encontró que el 83,3% de los profesores, el 75,0% de los estudiantes y el 83,9% del personal administrativo contestaron con un grado de percepción satisfactorio a la variable “*clima organizacional*”. De lo que se puede inferir que las universidades se muestran como lugares con “buen clima” para todos los grupos evaluados.

Esta premisa de percepción de satisfacción con la variable de clima laboral al interior de las instituciones de educación superior es respuesta de un conjunto de variables tangibles como lo son las instalaciones físicas (laboratorios, bibliotecas, salones, espacios de esparcimiento, cafeterías, zonas de comidas, espacios al aire libre, entre otros), que permiten diversificar las actividades a realizar, desde académicas, de crecimiento personal y hasta de diversión.

Estos recursos físicos también se complementan con intangibles que se perciben entre las interacciones de los diferentes stakeholder que conviven día a día en las universidades tales como: los valores, relaciones interpersonales, situaciones que fomentan el constante aprendizaje y crecimiento interior, a través de la dinámica de estos factores de manera bidireccional, puesto que cualquiera de ellos puede incidir en uno de los miembros de los grupos de interés (Bermúdez J., Pedraza A., and Rincón C., 2015).

Una variable crítica y con oportunidad de mejora, tanto para las instituciones acreditadas como para las no acreditadas en alta calidad es

la *Justicia*, relacionada con la percepción del respaldo e imparcialidad por parte de las directivas de la universidad ante situaciones asociadas con estudiantes, profesores y/o personal administrativo. Esto debido a que en el estudio se evidenció que el 36,1% de los profesores y el 50% del personal administrativo respondieron con un criterio de percepción inferior a cinco (insatisfechos) en una escala de 1-10.

Este concepto de “justicia” se vuelve complejo de analizar, dado que la educación superior es un bien público que permite a los jóvenes la transición hacia la vida adulta, la ciudadanía y el mundo del trabajo (García y, D’Angelo, 2020), lo que complejiza el nivel de relaciones entre los diferentes grupos que giran alrededor del proceso. Sin embargo, uno de los eventos que polariza la percepción de la insatisfacción con la variable “justicia” está asociado a los casos disciplinarios, en los que entran en contraposición las versiones de los hechos ocurridos por parte de los docentes y los estudiantes, principalmente porque los docentes entienden que su obligación con el estudiante va más allá de lo puramente académico y que en ese camino hacia la vida adulta requiere de un proceso de formación integral.

Las instituciones de educación superior se ven enfrentadas al dilema de su autonomía, que la conduce a la fijación de normas y reglamentos y el derecho a la educación que cobija a los estudiantes, y aunque se esperaría que estos dos objetivos convivan armónicamente, en la práctica, suelen entrar en conflicto, especialmente cuando es necesario aplicar regímenes sancionatorios (Amaya, Gómez y Otero, 2006). Lo que deja la sensación de “injusticia” en alguna de las partes. Para dirimir estas situaciones se propone hacerlo en espacios formales, claramente reglamentados y tener como pilar la toma de decisiones basada en evidencias tangibles y argumentación soportada en hechos.

Se observa que las instituciones con acreditación de alta calidad muestran una mejor percepción de cumplimiento de los CTQ de las clases en los temas de “Pedagogía” y “Evaluación”. Debido especialmente a los procesos de planeación de clases y a la variedad de estrategias pedagógicas y de evaluación utilizadas en las mismas.

La acreditación de alta calidad para instituciones de educación superior permite evidenciar estándares superiores de calidad que no se perciben en instituciones no acreditadas, ya que la percepción de alta calidad es la respuesta a la manera sistemática de mejoramiento continuo de sus procesos académicos y administrativos, derivado en la evolución de los procedimientos y normas que soportan la operación. Esto se expresa y observa en el buen desempeño de sus procesos misionales y óptimos tiempos de respuesta a los requerimientos realizados por los diferentes stakeholders (Giraldo et al., 2016).

Por último, no se evidencia una clara correlación entre los requerimientos y necesidades del sector empresarial (CTQ) y las respuestas por parte de las instituciones académicas. La no correlación evidencia una brecha entre estos dos sectores. Esta situación plantea la necesidad de estrechar la comunicación de forma que se pueda cerrar la brecha existente, al propender por el desarrollo de competencias requeridas por el sector empresarial que necesita de manera prioritaria para atender los retos de sus organizaciones. En el momento actual se hace más necesaria una verdadera transformación de la educación superior. En este sentido, uno de los aspectos centrales de esta transformación es la transferencia del conocimiento al sector productivo de los productos generados en la educación superior (Alvarado-Borrego, 2009).

6. CONCLUSIONES

A partir del estudio exploratorio realizado en una muestra compuesta por instituciones de educación superior, tanto acreditadas en alta calidad, como no acreditadas, y que dentro de su oferta cuentan con programas de pregrado en ingeniería, se analizaron las variables asociadas a los criterios críticos para la calidad (CTQ) de los *stakeholders* vinculados a los programas.

Los resultados presentados se lograron por medio de la metodología de investigación mixta (exploratoria y cuantitativa) que desarrollaron las cuatro etapas propuestas en el estudio: definir (D), medir (M), analizar (A) y se presentaron resultados y conclusiones (PRC). Se pudo obtener una serie de datos cuantitativos para realizar inferencias en el nivel de

percepción de cumplimiento por parte de los *stakeholder* asociados a los programas.

Del análisis realizado se infiere que las instituciones de educación superior con acreditación en alta calidad tienen mejor percepción entre los diferentes grupos de interés en los CTQ asociados a las variables de clima laboral, pertinencia en la evaluación, compensación, tiempos de respuesta, satisfacción en los procedimientos, pedagogía y evaluación.

Finalmente, logra resolver la pregunta de investigación del estudio exploratorio en la que se analizó la percepción de cumplimiento de los criterios críticos para la calidad (CTQ) de los grupos de interés asociados a los programas de ingeniería en instituciones acreditadas en alta calidad y las que no, se evidenciaron, cuantitativamente, los porcentajes de incidencia en el cumplimiento de las necesidades de los diferentes grupos de interés.

Se concluye que, al contar una institución de educación superior con una acreditación en alta calidad, se evidencia una incidencia positiva y significativa en la gestión del conocimiento y de sus procesos académicos y administrativos. Lo que demuestra que estas instituciones tienen un mayor control de sus procesos. Sin embargo, deja un reto que es importante trabajar y fortalecer. Se asocia a la brecha con el sector empresarial, la cual se puede mitigar al favorecer espacios para la formación de profesionales que respondan a los retos que afrontan las organizaciones en el marco del desarrollo de competencias blandas y técnicas. (González C., Murillo G., and García M., 2021)

Las instituciones de educación superior con acreditación en alta calidad apalancan sus procesos en modelos pedagógicos por competencias para mitigar la brecha de la academia con el sector empresarial. No obstante, de conformidad con la información recolectada a través de los instrumentos aplicados al grupo de interés de empresarios, en los que ellos manifestaron que las competencias y/o habilidades técnicas más relevantes que el ingeniero requiere desarrollar para atender los requerimientos organizacionales están asociadas a la alta capacidad de tomar decisiones, visión por procesos, dominio de otro idioma distinto

al nativo, dominio del componente tecnológico, análisis numérico y de volúmenes de información.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ahmad. (2018). “Kanban in software engineering: A systematic mapping study.” *International Journal of Systems and Software*.
- Altair. (2005). “El Cuadro de Mando Integral”. *Economía 3 Colecciones*.
- Alvarado-Borrego, A. (2009). Vinculación universidad-empresa y su contribución al desarrollo regional. En Ra Ximhai. Vol. 5. Número 3, septiembre – diciembre 2009, pp. 407-414.
- Amaya, R.; Gómez, M.; Otero, A.M. (2007). Autonomía universitaria y derecho a la educación: alcances y límites en los procesos disciplinarios de las instituciones de educación superior. En Revista de Estudios Sociales. No. 6. abril 2007, pp. 158-165.
- Bermúdez, J.; Pedraza, A.; Rincón, C. (2015). El clima organizacional en universidades de Bogotá desde la perspectiva de los estudiantes. *Revista Electrónica de Investigación Educativa*, Volume 17, Issue 3, Pages 1 – 12.
- Bernal, J.J. (2013). Ciclo PDCA (Planificar, Hacer, Verificar y Actuar): El círculo de Deming de mejora continua. *PDCA Home*. 23 de Agosto de 2013.
- Camisón, C.; Cruz, S.; González, T. (2006). *Gestión de La Calidad: Conceptos, Enfoques, Modelos y Sistemas*.
- Castaño, D., G.A y García, S., L. (2012). Una revisión teórica de la calidad de la educación superior en el contexto colombiano. *educ. educ.* [online]. vol.15, n. 2, pp. 219-243. ISSN 0123-1294.
- CESU (2020). Consejo Nacional de Educación Superior. Centro Nacional de Acreditación. Ministerio de Educación Nacional República de Colombia. Acuerdo 02 de 2020, por el cual se actualiza el modelo de acreditación en alta calidad.
- CNA (2020). Centro Nacional de Acreditación. Ministerio de Educación Nacional, República de Colombia. Información sobre la educación superior en Colombia. <https://www.mineduacion.gov.co/CNA/1741/article-187279.html>
- Cudney, E.; Furterer, S.; Dietrich, D. (2013). “Hoshin Kanri”. in *Lean Systems*.

- Dalton, J. (2019). “Gemba Kaizen”. in *Great Big Agile*.
- Da Silva, A. M., and Baranauskas; M.C.C. (2000). “The Andon System: Designing a CSCW Environment in a Lean Organization.” in *Proceedings - 6th International Workshop on Groupware, CRIWG 2000*.
- De Mast, J., and Lokkerbol, J. (2012). “An Analysis of the Six Sigma DMAIC Method from the Perspective of Problem Solving.” *International Journal of Production Economics*.
- Díaz del Castillo R., F. (2009). “La Manufactura Esbelta.”
- Drohomeretski, E.; Gouvea Da Costa, S.E.; Pinheiro De Lima, F.; Da Rosa, P.A. (2014). “Lean, Six Sigma and Lean Six Sigma: An Analysis Based on Operations Strategy”. *International Journal of Production Research*.
- Ennals, R. (2010). “Hoshin Kanri: The Strategic Approach to Continuous Improvement”. *AI & SOCIETY*.
- Fersini, D. (2019). “Six Sigma”. in *Quality Management: Tools, Methods and Standards*.
- Gapp, R.; Fisher, R.; Kobayashi, K. (2008). “Implementing 5S within a Japanese Context: An Integrated Management System”. *Management Decision*.
- García A.,E. A.; D´Angelo, N. (2020). La cuestión de la justicia en la educación superior en América Latina: Una revisión de su abordaje. En *Revista Latinoamericana de Estudios Educativos*. Universidad Iberoamericana Ciudad de México. Vol. L, número 3, pp. 13-45.
- Garcia, F.; Martins, C.; Santos De Carli, M.; Vilela Rodrigues, C.; Ponciano R., A.; Daré G., D. (2018). “Aplicação Da Metodologia 8d Para Resolução De Problemas: Um Estudo De Caso Em Um Fornecedor Da Indústria Automobilística”.
- García P., M.; Quispe A., C.; Ráez G., L. (2014). “Mejora continua de la calidad en los procesos”. *Industrial Data*.
- García, S. (2016). “¿Qué es TPM?” *Mantenimientopetroquimica.Com*.
- Garrot, T.; Psillaki, M. Rochhia, S. (2008). “Describing E-Learning Development in European Higher Education Institutions Using a Balanced Scorecard”. *RUSC. Universities and Knowledge Society Journal*.

- Ginkel, H.J.A., Rodríguez D., M. A. (2007). Retos institucionales y políticos de la acreditación en el ámbito internacional. En la Educación Superior en el mundo. https://www.researchgate.net/publication/277069856_Retos_institucionales_y_politicos_de_la_acreditacion_en_el_ambito_internacional
- Giraldo, J., Ovalle, D. y Santoro, F. Mecanismo de Inferencia Sensible al Contexto para la Integración de Procesos de Negocio en Acreditación Académica, doi: 10.4067/S0718-50062016000400007, Formación universitaria, 9(4), 53-62. (2016).
- González, C.; Murillo, G.; García, M. (2021). Efecto de la acreditación institucional de alta calidad sobre la gestión del conocimiento. Revista Electrónica La Serena, Volume 14, Issue 2, Pages 155 – 164.
- Hogg, T. M. (1993). “Lean Manufacturing.” *Human Systems Management*.
- ISO (2020). International Organization for Standardization. <https://www.iso.org/standards.html>
- Kaplan, R. (2017). “¿Qué es el Balanced Scorecard y para qué sirve? - GestioPolis”. *Kaplan y Norton (pp.38 y 39)*.
- Kaplan, Robert S., and Norton, D. P. (1992). “The Balance Score Card”. *International Journal of Production Research*.
- Kumar, C. Sendil, and R. Panneerselvam. (2007). “Literature Review of JIT-KANBAN System.” *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.
- Laka, J.; González R., M. (2015). “Industria 4.0”. *Dyna Ingeniería e Industria*.
- LSSI. (2020). Lean Six Sigma Institute de <https://www.lssi-spanish.org/>
- Lynch, D.; Bertolino, S.; Cloutier, E. (2003). “How to Scope DMAIC Projects.” *Quality Progress*.
- Marquet P., R. (2011). “Gestión de La Calidad.” *FMC - Formación médica continuada en atención primaria*.
- Ministerio de Educación. (2012). *Estándares de calidad educativa*. República de Colombia.
- Ministerio de Educación Nacional. (2019). *Decreto 1330 de julio 25 de 2019*. República de Colombia.
- Montalbán L., E.; Arenas B., E.J.; Talavera R., M.; Magaña I., R. E. (2015) Herramienta de mejora AMEF (Análisis del Modo y Efecto de

- la Falla Potencial) como documento vivo en un área operativa. Experiencia de aplicación en empresa proveedora para Industria Automotriz. *Revista de Aplicaciones de la Ingeniería*, 2-5: 230-240
- Moreno, Y.P. (2017). “Ciclo PHVA | Gerencie.Com.” 22 de septiembre.
- Patiño V., J. G. (2019). “La Cuarta Revolución Industrial”. *Ingenierías USBMed*.
- Shingo, Sh. (2019). *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*.
- Socconini, L., (2014). *Lean Six Sigma Yellow Belt*, Barcelona, España, Marge Books
- Sondermann, J. P.; Gerd F. K.; Sondermann, J.P. (2018). “Poka Yoke”. in *Poka Yoke*.
- Tecnigerencia. (2006). *AMEF Análisis de Modo y Efecto de Falla*.
- Thorsen, W. C. (2005). “Value Stream Mapping & VM.” in *45th Annual Conference of SAVE International 2005*.
- Toyota. (2020). Toyota Material Handling. Lean Academy de <https://toyota-forklifts.es/toyota-lean-academy/>
- Universidad Alliance. (2015). “Six Sigma: DMAIC Methodology”. *Villanova University*.
- Valbuena A., S. (2017). *Gestión por procesos*.
- Vlăsceanu, L, Grünberg, L and Pârlea, D. (2004) *Quality assurance and accreditation: A glossary of basic terms and definitions*. Papers on Higher Education. Bucharest. Unesco.
- Zaratiegui, J. (1999). “La gestión por procesos: Su papel e importancia en la empresa”. *Economía Industrial*.

ANÁLISIS EN LA GESTIÓN DE INTEGRIDAD EN INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE DE HIDROCARBUROS MEDIANTE EVALUACIÓN ILI EN EL SUR-ORIENTE COLOMBIANO

Rosas Romero, Luis Miguel¹; Hernández Carrillo, Carlos Gabriel²; Beltrán Galvis, Nelson³
.....

1. INTRODUCCIÓN

La infraestructura de transporte de hidrocarburos ha adquirido una importancia crítica para la mayoría de economías en el mundo y actualmente son una parte importante de la infraestructura de transporte nacional. Como los vasos sanguíneos en organismos biológicos, la infraestructura de transporte es indispensable para las funciones vitales de la sociedad. Estas se ejemplifican en el transporte de agua o gas natural para la satisfacción de necesidades básicas, junto con la suplencia de requerimientos energéticos en la mayoría de naciones por fuentes de hidrocarburos y transportadas por oleoducto (Infrastructure and Projects Authority, 2018; G. Koch et al., 2016; Song et al., 2018). Asimismo, son considerados como el modo de transporte con mayor practicidad y favorabilidad en la distribución de gas o combustibles líquidos en grandes cantidades y largas distancias dentro de los límites geográficos de un país o más allá de ellos (Dey, 2004; Song et al., 2018).

Gran parte de la infraestructura para transporte de hidrocarburos se concibe y construye para trasladar diferentes tipos de fluidos, junto con las ventajas de seguridad, eficiencia y bajo costo. No obstante, esta

1 Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. luis.rosas02@uptc.edu.co
2 Universidad Francisco de Paula Santander. carlosgabriel.hernandez@uptc.edu.co
3 Universidad Francisco de Paula Santander. nelsonbeltran@ufps.edu.co

infraestructura es propensa a fenómenos de corrosión, grietas, abolladuras, entre otros fenómenos externos que impactan mediante el deterioro de su integridad, constituida en su mayoría de acero con diferentes aleaciones (Dueñas, Sepúlveda, & Vera, 2009). Estos defectos, al no ser manejados apropiadamente, pueden generar fallas que, en un transcurso de tiempo incierto, generan en las tuberías, fugas o rupturas que ocasionan el vertimiento del fluido transportado al medio ambiente. Además, para su mantenimiento y/o reemplazo de la sección afectada se producen sobrecostos, periodos de inactividad y riesgos latentes para la seguridad de los trabajadores. Por consiguiente, la gestión de calidad en la integridad de la infraestructura de transporte ha asumido un papel principal para los operadores de oleoductos, en búsqueda de asegurar operaciones confiables y seguras para el aumento de productividad, reducción de costos, prevención de daños al medio ambiente y apoyo de proyectos futuros (Xie & Tian, 2018).

Por otra parte, esta gestión es crucial en las economías de muchos países, incluido Colombia, el cual depende del funcionamiento fluido e ininterrumpido de este recurso estratégico. De tal forma que garantizar su funcionamiento es vital, ya que los beneficios proveídos en la seguridad inherente a este tipo de infraestructura son notables, debido a las reducidas tasas de fallo y costos en comparación con ferrocarriles o el transporte por carretera. Aun así, no es exenta de sufrir fallas y en algunos casos generar consecuencias catastróficas. Por tal razón, se han formulado prácticas de inspección y mantenimiento que suelen seguir la mayoría de operadores en oleoductos, formulados principalmente sobre la práctica empírica. No obstante, se ha evidenciado un cambio en los operadores a través de la elaboración de políticas para el mantenimiento organizado, basado en la implementación de nuevas tecnologías junto con el análisis de datos y otros estudios internos para sustituir a las políticas fundamentadas en la empiria o regla general (Dey, 2004).

Sin embargo, no es claro el impacto de las políticas relacionadas con la gestión de calidad para proyectos de inspección dentro del presupuesto y plazos asignados, el cual desempeña un papel esencial en la gestión de integridad de tuberías y debe constituirse como parte fundamental del trabajo diario en campo. Esto se sustenta por la implementación de herramientas que permitan no interferir con el transporte de

hidrocarburos y una respuesta a la idoneidad de su servicio. Para este fin se han constituido los ensayos no destructivos (END) como idóneos para reducir la probabilidad y consecuencias de las fallas generadas al diagnosticar y gestionar adecuadamente los defectos identificados. Esto permite formular un análisis de calidad del producto sin destruirlo y la supervisión, predicción de los defectos y prevención de fallos. Lo que facilita formular acciones específicas mediante la inspección, el mantenimiento y la reparación (Pacana & Siwec, 2021; Xie & Tian, 2018).

Así pues, un buen programa de integridad de oleoductos debe ser capaz de gestionar el riesgo con éxito, evitar la generación de fallos, controlar los daños con eficacia, reducir el coste global e incluir el mejoramiento continuo. También, son necesarias la supervisión y evaluación de calidad en casos concretos y globales en la integridad de las redes de transporte de hidrocarburos (Dwivedi, Vishwakarma, & Soni, 2018; Wang, 2008). Igualmente, se requiere la implementación de políticas, junto con técnicas robustas para mitigar y controlar fallas causadas por el deterioro en continua interacción con el medio. De modo que pueden generarse pérdidas económicas considerables al no existir una gestión de calidad enfocada en la supervisión y control de integridad en las tuberías de transporte de hidrocarburos y la evaluación de procesos por herramientas iterativas que permitan el mejoramiento continuo, al implementar instrumentos de prueba y evaluación aplicados en proceso de control. A través de la evaluación en los métodos de inspección y los requisitos de calidad es posible garantizar y validar los resultados identificados.

El Project Management Institute (2017) propone, en el control de calidad, varias salidas relacionadas con el rendimiento en los sistemas implementados con la gestión de calidad y la certificación de entregables. Además, la creación de información sobre el desempeño y solicitudes de cambio en las metodologías implementadas están en función del uso de diferentes técnicas o ensayos no destructivos (END), con el fin de realizar pruebas de sus propiedades mecánicas, físicas, dimensionales o químicas que no afectan la integridad del material de forma permanente. A la par, estas metodologías permiten reducir el tiempo de inactividad y mejora de seguridad y productividad (Sun, Kang, & Qiu, 2011). El

uso de los anteriores ensayos implica la identificación y caracterización de los daños o defectos en la superficie y el interior de la estructura de transporte sin cortar o alterar de alguna manera su integridad, en contraste con el invasivo y exploratorio (incierto) enfoque que proporcionan los ensayos convencionales. Esto implica la extracción de muestras para su investigación y examen individual o su aplicación a todo el material en laboratorios especializados y alejados de la zona de transporte en un sistema de control de calidad de producción tradicional, que genera mayores costos de inspección (Aire & Chimezie, 2016).

Con el advenimiento de las redes de comunicación digitales, se han formulado soluciones de gestión en procesos de inspección que requieren el análisis de información, basados en la comunicación remota. Estos procesos han facilitado la distribución y el intercambio de información entre los datos obtenidos en campo y su análisis en adecuadas instalaciones, sin detener el flujo de hidrocarburos para obtener muestras físicas y su transporte a zonas idóneas para su análisis. Estas formulaciones han requerido la realización de informes y pruebas sustentadas en información primaria para comprobar la calidad de la inspección. Lo cual sustenta la gestión de la integridad y su mejora continua mediante la realimentación de cambios en el diseño, especificación de materiales, adquisición, construcción, funcionamiento, inspección y el mantenimiento de las tuberías, para reducir los riesgos de fallas razonablemente posibles y maximizar la eficiencia de los componentes industriales (Gabetta, Pagliari, & Rezgui, 2018).

Conjuntamente, la evaluación en la gestión de calidad en la técnica de inspección y sus resultados en coherencia con el apremiante enfoque del desarrollo económico colombiano en políticas destinadas a las actividades minero-energéticas han generado un impacto en las exportaciones, producto de la explotación del subsuelo para la extracción de combustibles fósiles, transporte, procesamiento y comercialización. Estos generan excedentes financieros que han permitido la construcción, mantenimiento de nueva infraestructura y el soporte económico en la formulación en proyectos de gran envergadura, a partir de las necesidades de la población y aumento de las relaciones comerciales con mayor integración a la globalización (José Maya Villazón et al., 2017; Ministerio de Minas, 2016).

El crecimiento económico generado ha permitido la implementación de sistemas enfocados en la gestión de calidad, en búsqueda de garantizar el funcionamiento adecuado de la infraestructura utilizada para el transporte de hidrocarburos. Esto es coherente con la implementación e integración de técnicas no destructivas novedosas y formulaciones para aumentar el conocimiento sobre la inspección prescrita por estas herramientas en la evaluación de anomalías identificadas y relacionadas con sus rendimientos, que permiten formular las métricas de calidad con el fin de avalar o modificar las políticas, procedimientos y pautas aplicables para alcanzar los objetivos de calidad propuestos (Project Management Institute (PMI), 2017).

Por consiguiente, la tecnología END ha reemplazado los esquemas tradicionales por inspecciones in-situ e integrado las métricas y evaluación de gestión de calidad, al implementar diferentes combinaciones de estos ensayos para una mejor gestión de calidad y riesgo. Debido a lo cual se sustenta en la comprensión de los antecedentes, ventajas y limitaciones de cada método que aseguren el éxito de la inspección junto con la integración de una amplia variedad de métodos en función de las mayores exigencias y menores tiempos de evaluación y el aumento en la demanda de redes de transporte. Estos cambios en los procesos son coherentes con una operación óptima, continua y rentable (Andalucía, 2011). La implementación de metodologías permite una mayor robustez y eficiencia en los procesos de inspección y gestión de calidad, que deben estar en armonía con la preservación y garantías del correcto funcionamiento de esta infraestructura, representado en altos capitales de inversión. Esto es causado por el mantenimiento e integridad de los activos críticos, gravemente amenazados por el inherente deterioro electroquímico conocido popularmente como corrosión (Christen, Bergamini, & Motavalli, 2009; Johnson, Tesfaye, Wargacki, Hennig, & Suarez, 2018; Pérez, 2004; Sun et al., 2011; Vanaei, Eslami, & Egbewande, 2017).

Al mismo tiempo, se debe asegurar la mitigación del riesgo causado por la degradación generada entre la interacción de la infraestructura y el medio ambiente mediante su diseño y monitoreo periódico. Por esta razón, la gestión en integridad se ha convertido en un proceso crucial para garantizar una operación segura y fiable, especialmente en la inspección de ductos metálicos enterrados. Sin embargo, es común que las empresas

encargadas conserven mucha información sobre datos de inspección y monitoreo no correlacionados por la falta de conocimiento especializado (Dueñas et al., 2009). Así pues, existen pocos procesos que involucren la valoración y correlación de información resultante de la inspección en las tuberías y el contexto geográfico y socioeconómico.

De manera que la presente investigación tiene como fin evaluar la gestión de integridad para la inspección de infraestructura de transporte de hidrocarburos en el sur-oriente colombiano, al valorar la implementación de ensayos no destructivos que permitan la realización de diversas operaciones de mantenimiento en procesos continuos de tubería y realizar operaciones de limpieza con la implementación de la metodología In Line Inspection (ILI).

Con base en estos análisis, es posible identificar la pertinencia de la gestión de integridad en este tipo de infraestructura, junto con el efecto de políticas que han permitido o reducido su implementación, que abarquen con mayor impulso la identificación de amenazas típicas de la integridad de este tipo de infraestructura y la articulación de técnicas involucradas en la gestión de integridad. Estos resultados permitirán evaluar la gestión de calidad en infraestructura del transporte de hidrocarburos, al implementar herramientas no destructivas en procesos de inspección, mediante información obtenida en campo y la evaluación de características que visibilizan las eficiencias y los fenómenos económicos inmersos.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Las redes de transporte de hidrocarburos

Los oleoductos son medios de transporte para combustibles fósiles y otros recursos en estado líquido por infraestructura constituida en su mayoría por tuberías de acero. Estas se consideran parte integral de la infraestructura energética mundial, gracias a su practicidad y rentabilidad para el envío de recursos energéticos en largas distancias (Iqbal, Waheed, Tesfamariam, & Sadiq, 2018; Song et al., 2018). Esto es en parte causado por la creciente importancia del sector minero-energético en Colombia durante las últimas dos décadas, al consolidarse como uno de los sectores estratégicos de la economía nacional. No obstante, a partir del 2014, la

caída en el precio del petróleo moderó drásticamente el ritmo de expansión de esta actividad (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, 2016).

Pese a esto, este sector de la economía impera en zonas específicas para extracción de recursos fósiles como materia prima junto con la continua utilización de la infraestructura existente y las diferentes gestiones para mejorar la eficiencia y calidad en su extracción y transporte para reducción de costos inherentes en el proceso para la comercialización de hidrocarburos. Estas políticas rigen el sector de minas y canteras, debido a la creciente demanda de hidrocarburos como recurso energético mayoritario en grandes sectores económicos. Esto ha generado una vasta red de infraestructuras en la industria petrolera, procesos de producción, transmisión, almacenamiento, refinado y distribución. Así pues, una falla en cualquiera de estas unidades de transporte afecta el funcionamiento global de la red de transporte e impactan negativamente en el desarrollo económico (Papavinasam, 2017).

2.2 Importancia en las políticas de inspección de infraestructura de transporte de hidrocarburos

La gestión de integridad es un proceso que requiere una mejora continua a través de la realimentación en los procesos implementados con referencia al diseño, especificación de materiales, construcción, operación, inspección y mantenimiento, para reducir los riesgos de fallas (Gabetta et al., 2018). Entonces, la inspección es un asunto de gran importancia en la ingeniería y afecta a todas las facetas que integran las etapas de producción. De modo que una inadecuada gestión de integridad conduce a la degradación ambiental, riesgos para la salud humana, impactos socioeconómicos y pérdidas materiales incalculables. Las investigaciones de incidentes en oleoducto han revelado que avances tecnológicos e implementación de planes para la gestión del riesgo han proporcionado enfoques en la identificación, análisis y su monitoreo. Estas estrategias de gestión, entre otras acciones, permiten abordar fenómenos conexos a la gestión de integridad (Iqbal et al., 2018; Project Management Institute, 2017). Además, el principal objetivo de la inspección es reducir el riesgo y aumentar la calidad en redes de hidrocarburos, debido a su instalación y propensión a diferentes ambientes que generan corrosión, grietas,

deformación, daños por fuerzas externas, entre otros eventos que degradan la calidad de la infraestructura petrolera (Aire & Chimezie, 2016; Song et al., 2018).

La gestión de integridad garantiza que todos los activos y oleoductos funcionen eficazmente durante la duración de su vida útil. En la implementación del proceso de gestión en la integridad de estas redes se requiere de la evaluación de todos los riesgos e integración de los conocimientos en los mecanismos de daño por metodologías simples y efectivas en la selección de materiales en la etapa de diseño y durante la vida operativa. Al mismo tiempo, las gestiones en la operatividad son necesarias durante el uso de estos medios físicos que permiten evitar o retrasar daños globales a futuro (Papavinasam, 2017).

2.3 Principales problemas en la gestión de integridad de redes de infraestructura de transporte de hidrocarburos

Uno de los riesgos latentes y de mayor afectación en las infraestructuras de transporte de hidrocarburos es la corrosión. Esta se ha definido como proceso de oxidación electroquímica por transferencia de electrones al medio ambiente bajo un cambio de valencia de cero a un valor positivo en medio líquido, gas o híbrido suelo-líquido. Estos ambientes se llaman electrolitos, ya que su propia conductividad es el medio para la transferencia de electrones. Un electrolito es análogo a una solución conductora que contiene iones cargados positiva y negativamente llamados cationes y aniones, respectivamente. (Pérez, 2004). La reducción de este riesgo es un componente clave en la gestión de la integridad. Se estima que daños generados por la corrosión equivalen a 2,5 billones de dólares, equivalentes al 3,4% del PIB mundial. Al implementar prácticas de gestión de calidad mediante el seguimiento y control disponibles, se estima un ahorro entre el 15% y el 35%, correspondiente a 375 y 875 mil millones de dólares anuales a nivel mundial (Gerhardus Koch, 2017).

Estos costos no incluyen las consecuencias generadas en la seguridad de ambientes individuales. Conjuntamente, varias industrias han notado que la falta de gestión de la corrosión puede ser muy costosa y que, mediante una gestión adecuada, es posible lograr un ahorro significativo en los costos a lo largo de la vida útil de un activo, para lograr el alcance

total de estos ahorros (G. Koch et al., 2016; Gerhardus Koch, 2017). Además de los fenómenos inherentes al intercambio de electrones con el medio, algunos daños en la integridad de las redes de hidrocarburos son causados por una mayor propensión a fenómenos naturales en zonas geográficas con topografías abruptas y efectos antrópicos acentuados en Colombia por circunstancias socioeconómicas, producto del conflicto armado o atentados de grupos al margen de la ley (Velásquez Arias, 2017). Todos estos problemas generan en un corto, mediano o largo plazo, consecuencias económicas y ambientales notables.

2.4 Detección y control de calidad

La detección y control en la aplicación de un programa eficaz de gestión de la calidad puede contribuir a la reducción de fallas y reprocesos en el transporte de hidrocarburos. Si bien se ha enfocado el papel de la gestión de la calidad en la reducción y contención de estas problemáticas, existe escasez de investigaciones centradas en la efectiva implementación de procesos de inspección que apoyen la pertinencia de las técnicas implementadas, según su éxito en la determinación de requerimientos previamente formulados que mitiguen consecuencias adversas de manera oportuna (Ding, Li, Zhou, & Love, 2017).

Por esta razón, Mecanismos formulados para establecer la pertinencia y evaluación de equipos y maquinaria utilizados en la industria petrolera deben cumplir requerimientos en función de las necesidades de los interesados, cumplir la normativa gubernamental en función del establecimiento de las condiciones óptimas de operación y el cumplimiento de los resultados de un servicio de calidad y precisión. Estos son elementos claves para la producción óptima, adecuación a nuevas formulaciones tecnológicas y las mayores exigencias de calidad en todos los procesos. Además, las complejas condiciones socioeconómicas y del entorno dificultan las formulaciones prospectivas que permitan una adecuada gestión de calidad en inspecciones de las redes de transporte de hidrocarburos. Entonces, la implementación de los sistemas de aseguramiento de equipos e instrumentos de medición a través de la acreditación de su gestión se convierte en una necesidad relevante para la industria de la extracción y transporte de recursos energéticos (Oppong, Chan, & Dansoh, 2017; Pachón Pedraza, Perdomo Montealegre, & Rodríguez Serrezuela, 2018).

Para la eficacia del control de calidad, es de vital importancia integrar la configuración de especificaciones y planes de inspección como parte de la gestión de calidad. Según la Asociación for Project Management (2012), se debe incluir el tamaño de las muestras en las pruebas de inspección para responder a una representatividad de la evaluación a formular, con un protocolo que incluye los recursos necesarios (personal, equipos, experiencia de terceros o instalaciones). Esto permite brindar confianza a los resultados, mediante una formulación independiente de las pruebas por parte de un regulador externo. Asimismo, las actividades de control de calidad deben incluir decisiones sobre el grado de conformidad de los resultados obtenidos mediante su comparación y pertinencia con especificaciones relevantes, criterios de aceptación y medidas a formular en caso de no conformidad. La integración de estos elementos se ilustra en la Fig. 1.

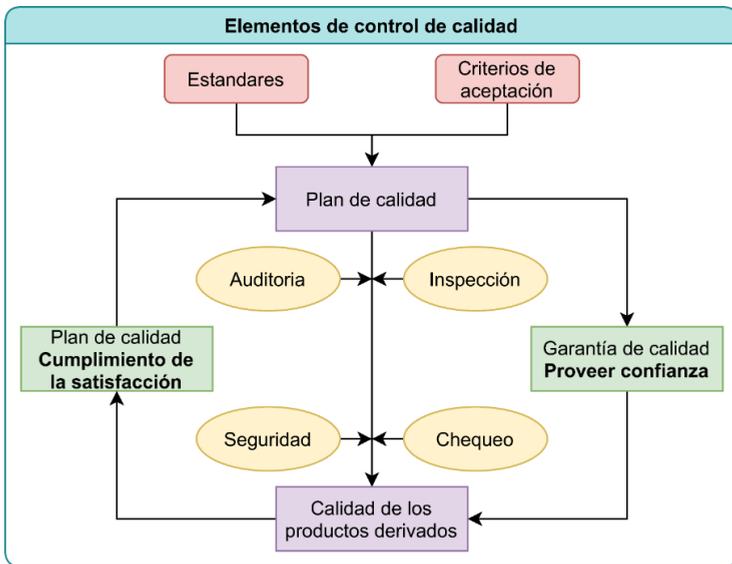


Fig. 1. Elementos de control de calidad desde el inicio del proyecto.

Fuente: modificado de: Asociación for Project Management (APM). (2012). APMBOK, APM Body of Knowledge.

Al identificar y rectificar preliminarmente las posibles fallas en procesos de inspección, menor será el impacto generado en otras actividades junto con la reducción de costos y mínima afectación en el cronograma establecido. A pesar de esto, la literatura que aborda la detección y el control de la calidad en las herramientas o tecnologías

implementadas ha tendido a centrarse en el desarrollo de tecnologías que se limitan a la simple identificación sobre la base de la experiencia, al implementar prácticas de inspección y mantenimiento tradicionales, seguidas por la mayoría de los operadores de oleoductos y gasoductos sin implementar gestión en la formulación de su pertinencia y eficiencia en el tiempo.

Así pues, realizar acciones de gestión de la calidad en procesos de inspección converge y contribuye en gran medida a la sustentación de las bondades de las técnicas implementadas, junto al incremento en la demanda, mayores exigencias de calidad y menores precios en la adquisición de productos y servicios (Dey, 2004; Razzak Rumane, 2021). Asimismo, el resultado en la evaluación de eficiencias en procesos de gestión de calidad tiene diversas aplicaciones al implementar metodologías, instrumentos y técnicas, como herramientas de mejora de la calidad, junto con la identificación de fenómenos externos que influyen en los procesos que permiten garantizar su entrega con el nivel de calidad requerido. Además, las garantías de calidad incluyen los esfuerzos externos que proporcionan información para mejorar los procesos internos e intenta garantizar la integración entre el alcance, coste y el tiempo del proyecto de inspección (Razzak Rumane, 2021).

2.5 Análisis de inspección en línea o Analysis of In-line Inspection (ILI)

Es una técnica de inspección de tuberías, utilizada para identificar lugares con posibles características de corrosión o defectos anómalos en la tubería mediante la inserción de dispositivos referidos como “marranos o pig” al interior de las mismas, para realizar actividades de limpieza e inspección. Este procedimiento es llamado pigging y puede realizarse en una variedad de diámetros sin detener el flujo a través de la línea para la posterior implementación de END, como la inspección visual (VI), la metalografía in situ (OM), líquidos penetrantes (PT), la inspección de partículas magnéticas (MPI), las corrientes de Foucault (EC), etc. Se utilizan luego de identificar los lugares identificados por ILI y posterior recolección y análisis de información sobre los defectos recogidos mediante estas herramientas de detección e identificación (Vanaei et al., 2017). Al evaluar esta técnica, es posible identificar el desempeño de la gestión de calidad integralmente, ya que permite identificar y evaluar

el daño interno y registra las irregularidades en las tuberías, incluida la corrosión, grietas, deformaciones u otros defectos. El método ILI es reconocido internacionalmente como la forma más efectiva de proteger la operación de seguridad de la tubería y una parte importante del sistema de gestión de integridad para promover una operación segura, eficiente y rentable (Song et al., 2018; Xie & Tian, 2018).

Igualmente, como parte de la gestión de calidad es necesario incluir la predicción del crecimiento de los defectos que en el futuro pueden producir un fallo en la tubería, debido a la existencia de diferentes tipos de amenazas para la integridad de las tuberías, como la pérdida de metal, las grietas, las abolladuras, los daños de terceros, las soldaduras, etc. Estos planteamientos deben involucrarse en la gestión de calidad basada en el riesgo, la cual se resume e ilustra en la Fig. 2.

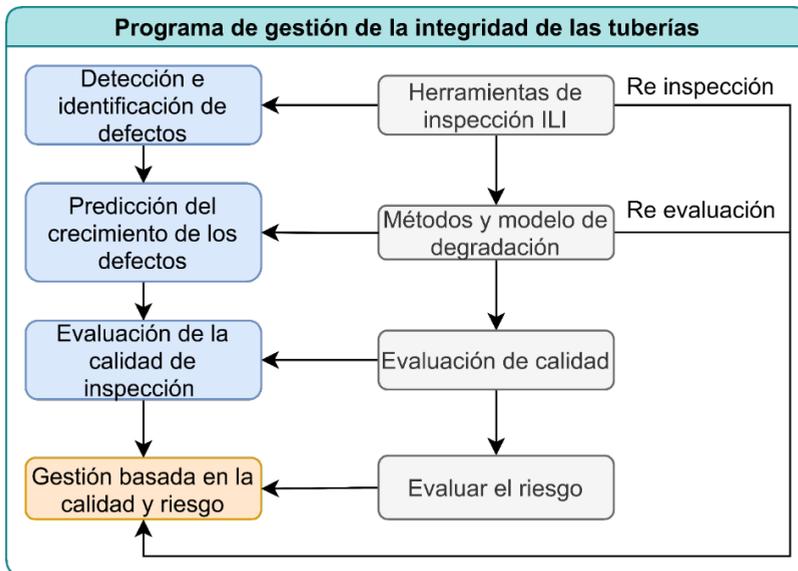


Fig. 2. Diagrama de flujo para un programa de gestión de la integridad de las tuberías al utilizar ILI.

Fuente: modificado de: Xie, Mingjiang & Tian, Zhigang. (2018). A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data.

Bajo el programa de gestión de calidad y riesgo es posible formular los intervalos de inspección adecuados, acciones de mantenimiento y reparación, junto con la estimación de cambios o actualizaciones de las acciones de inspección y el estado de los defectos para lograr una predicción precisa de

los defectos y equilibrar la fiabilidad y los costes de forma eficaz (Xie & Tian, 2018).

2.6 Retos de la economía global y el sector de hidrocarburos

El mercado global se encuentra en un entorno de alta incertidumbre económica y política, volatilidad en los mercados y bajos crecimientos. El endurecimiento de las condiciones financieras y el debilitamiento del estímulo fiscal son los principales impulsores de la desaceleración del crecimiento de las actividades productivas responsables del desarrollo económico. Sin embargo, al interior de cada una de estas categorías hay importantes diferencias en su aporte al PIB de producción a precios constantes en Colombia y el variado aporte por el sector de explotación de minas y canteras, al compararse con el constante crecimiento de otras actividades en los últimos 15 años. Esta actividad económica tiene una mayor variabilidad, estimada en una tasa anual de \$ 350,5 x10⁹ pesos ($R^2=0.62$) y aporta un 5,11% de la producción total (Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE, 2019; Sarmiento-Rojas, González-Sanabria, & Hernández Carrillo, 2020).

No obstante, la caída de los precios internacionales del petróleo en el 2014 generó un impacto negativo sobre los ingresos de la Nación, reflejado en el aumento del déficit y la deuda del gobierno, debido al sustento fiscal, producto del incremento en las rentas petroleras que alcanzaron hasta un 20% de las rentas en el 2013, reducida drásticamente en los años 2015 y 2016 (Melo Becerra, 2017). Esta disyuntiva impactó negativamente las inversiones en infraestructura y se establecieron políticas para el uso eficiente de los recursos, incrementar la producción y satisfacer el mayor número posible de necesidades, según los conceptos de elección, escasez y costo de oportunidad (Myers, 2017). Por lo tanto, la realidad política es representada por factores que influyen en la productividad de uno o varios sectores de la economía como:

- La cantidad y calidad de los recursos naturales y artificiales.
- La calidad y extensión de la educación y capacitación de la fuerza laboral.
- Los niveles de expectativa, motivación y bienestar.
- El compromiso con la investigación y el desarrollo.

2.7 Problemáticas que aquejan al sector de hidrocarburos

Desde hace más de 30 años se ha criticado a diferentes industrias por sus deficientes sistemas de gestión junto con los mayores requerimientos que la demanda exige. Por ende, algunas de las deficiencias identificadas en la gestión de calidad en diversas actividades productivas son las siguientes:

- Los programas de planeación y control no reflejan la realidad productiva.
- No se mide el desempeño de los procesos con base en sus tareas.
- No se establecen indicadores claros para cada tarea.

La mayoría de los esfuerzos de investigación en el campo del control de proyectos aún se centran en el desarrollo de modelos de control de costos, dado que en los procesos de inspección de tuberías, las fuentes de inversión se sustentan casi en su totalidad en la inversión o excedentes financieros, producto de la explotación y posterior exportación (Xiong, Adan, Akinci, & Huber, 2013). Así, una parte crítica del control del proyecto es el seguimiento del progreso o la detección. Aunque, el seguimiento en procesos de inspección se asocia a muchas variables para una adecuada gestión de integridad y evaluación de grandes cantidades de información relacionada con una variedad de funciones, como:

- La programación,
- Los métodos de inspección,
- La administración de costos,
- Los recursos,
- El control de calidad.

Junto con los grandes volúmenes de información proporcionada por varias fuentes diferentes, es posible su presentación en una amplia variedad de formas. Esto genera dificultades en el rastreo y registro de cambios, basados en decisiones conscientes tomadas durante los procesos de inspección. Además, existen dificultades del rastreo y registro adecuado en las desviaciones sutiles, producto de decisiones inconscientes. Al mismo tiempo, no es ajena la burocracia, corrupción, poca planificación,

supervisión deficiente y falta de compromiso por los líderes de proyectos a la problemática de productividad y algunas de sus falencias. Estas se evidencian en los incumplimientos de los plazos de tiempos y metas de costos establecidos previamente, junto con las dificultades inherentes a la gestión efectiva en un primer intento por el uso de nuevas metodologías y al no incluir en el plan de gestión de calidad un plan de trabajo. Lo que genera deficiencias en la gestión de recursos y dificulta el óptimo control del proyecto de inspección (Mejía Aguilar & Hernández, 2007).

3. MARCO METODOLÓGICO

Para este planteamiento se consideran algunos fenómenos sociales y ambientales del territorio evaluado que permitan la comprensión de efectos ocurridos en la integridad de la infraestructura evaluada y su inclusión en la identificación de las implicaciones en varias dimensiones socioeconómicas y ambientales. En este orden de ideas, se parte de una representación sistémica para el establecimiento de condiciones económicas en la zona de evaluación y su contribución en la economía nacional, con el fin de identificar la gestión de calidad y sustentar la representatividad de las inspecciones realizadas en la red de hidrocarburos. Esta gestión es realizada mediante la consecución de información recabada al identificar defectos con instrumentos de detección, realizada a través de recorridos a lo largo de oleoductos por parte del personal técnico, al implementar técnicas de inspección ILI por empresas filiales a Ecopetrol en un periodo de 10 años (2009-2019).

Estas herramientas son las tecnologías de inspección de mayor uso para detectar anomalías en las tuberías en la actualidad (Song et al., 2018; Xie & Tian, 2018). Por lo tanto, en la presente investigación solo se evaluará la metodología ILI. Asimismo, la cuantificación de evaluaciones estará acompañada de una estimación geográfica que permitirá diferenciar algunas características del entorno que impactan en la integridad en la red de hidrocarburos.

3.1 Determinación de zonas de estudio

Las redes de transporte de hidrocarburo evaluadas solo conducen petróleo crudo desde los campos de producción hasta las refinerías.

Una parte importante de la red de oleoductos es actualmente operada y evaluada por empresas filiales de Ecopetrol (empresa de economía mixta, de carácter comercial y del orden nacional, vinculada al Ministerio de Minas y Energía), las cuales se encuentran distribuidas en el sur-oriente colombiano. Estas se diferencian geográficamente por su ubicación, según las entidades territoriales departamentales y Regionales, (Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) & Unión Temporal PLAN-IN-Planeación Inteligente SAS y SA&S – Soluciones Ambientales y Sociales, 2017).

Debido a la imposibilidad de obtener un valor exacto de las actividades de control y monitoreo realizadas en todas las redes de hidrocarburo del país, el procedimiento de validación se ha realizado a partir del establecimiento de los departamentos con mayor aporte a la producción de hidrocarburos y las redes para su transporte en esta zona geográfica, aleatoriamente recogidas y representadas en 535 puntos de red y 2864 resultados obtenidos mediante técnica ILI en un periodo de diez (10) años (2009-2019) y su correlación con la distribución geográfica de las redes en la zona sur oriental.

3.1.1 Medios para la selección de la zona de estudio

El sur-oriente colombiano se caracteriza por la explotación intensiva de hidrocarburos e inclusión de las principales redes para transporte de petróleo, junto con la mayor concentración de demanda poblacional del país. Por este motivo, las muestras de estudio están relacionadas con los departamentos donde se ubican las redes de hidrocarburos (demarcado en rojo) en la Fig. 3. la selección de las inspecciones realizadas fue aleatoria y se ilustra en Sistemas de Información Geográfica (SIG), como herramientas que permiten el análisis, presentación e interpretación de los hechos relativos a la superficie terrestre (Olaya, 2014; Peuquet & Marble, 1990).

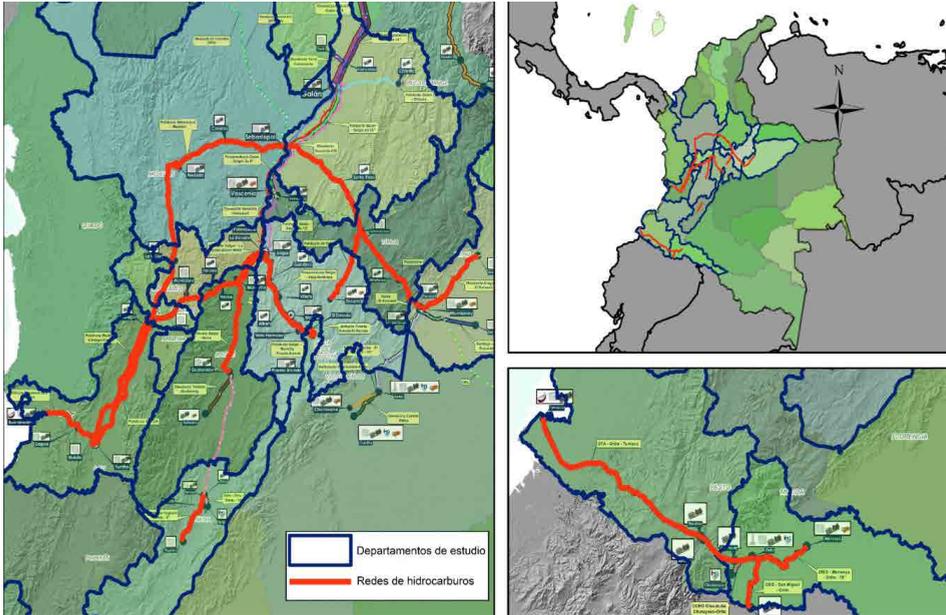


Fig. 3. Distribución geográfica de las redes de hidrocarburos en los departamentos evaluados.

Fuente: modificado de CENIT, Transporte y logística de Hidrocarburos.

Los datos espaciales se refieren a los objetos geográficos de interés (redes de tubería y entidades territoriales) y sus ubicaciones respectivas, junto con las características o atributos, como un nombre, número de inspecciones, tipo de daño encontrado, etc. Esto permite su vinculación de dos tipos de datos para crear información y facilitar el análisis con cada capa que representa un tema geográfico diferente, como las características geográficas y políticas, apiladas una sobre otra (Campbell & Michael, 2012).

4. RESULTADOS

4.1 Evaluación de la actividad económica y el impacto de actividades de minas y canteras en el país

Como estimativo para establecer la zona de estudio representativa, se analiza el PIB per cápita como indicador de la relación entre el valor total de los bienes y servicios generados durante un año en una nación y el número de sus habitantes, según los Reportes del (Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE, 2017). El PIB a nivel nacional per cápita promedio corresponde a \$19.634.626,7 pesos (\$ 5.700 USD, aproximadamente). No obstante, algunos departamentos se encuentran por encima del PIB per cápita nacional como Casanare, Meta y Bogotá, D.C. con \$41.971.599 pesos (\$12.300 US), 35.056.954 pesos (\$10.300 USD) y \$ 30.628.794 pesos (\$ 9.000 USD), respectivamente. La capital del país centraliza la producción nacional en gran parte de las actividades económicas (aproximadamente un 25% del total), por lo que el PIB per cápita se mantiene elevado, ya que en esta zona del país se concentra la mayor cantidad de población y es considerada el centro económico, empresarial e institucional del país. En contraste, en los departamentos de Casanare y Meta, el PIB per cápita son los mayores del país como consecuencia del auge que ha tenido la explotación petrolera en su territorio (Delgado & Pérez, 2018).

La diversidad en el PIB per cápita se expone geográficamente en la Fig. 4, el cual se encuentra diferenciado según departamentos. Como ejemplo se analiza el caso específico de los departamentos del Meta y Casanare, los cuales aportan un 3,5% y 1,5% de producción per cápita, respectivamente. Además, estos son los departamentos con mayores ingresos per cápita del país, producto de la concentración de la mayor producción de recursos naturales estratégicos (RNE). Estos se obtienen directamente de la naturaleza sin requerir mediación humana para su generación. Estos han sostenido gran parte de la producción industrial del país mediante su uso interno y exportación, del cual dependen las sociedades contemporáneas. En Colombia, una buena parte de la economía e inversión pública se ha sustentado a partir de la extracción de estos recursos. No obstante, a partir de la segunda mitad de 2014, la economía

colombiana comenzó a ser afectada por reducción de sus rentas por intercambio, como resultado de la fuerte caída del precio del petróleo, entre otro tipo de incertidumbres económicas globales. Lo cual ha afectado la demanda externa, percepción de riesgo y crecimiento económico (Escuela de Economía y Finanzas Universidad EAFIT, 2019; Rojas, 2015; Toro-Córdoba, Garavito-Acosta, López-Valenzuela, & Montes-Urbe, 2015).

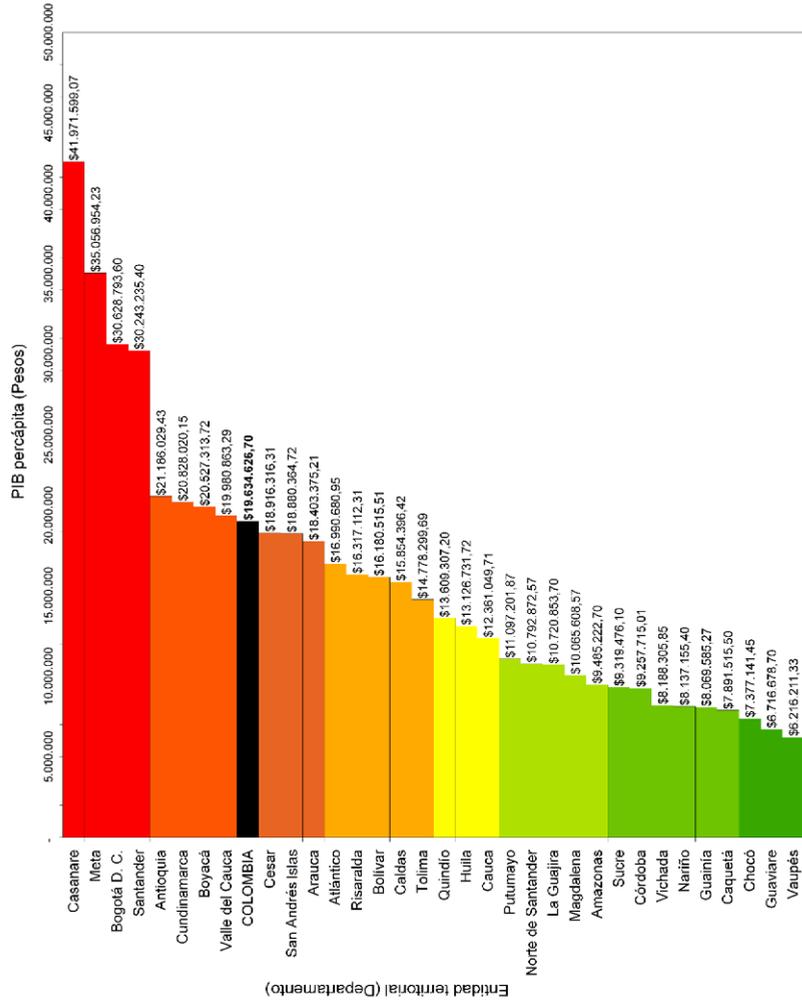
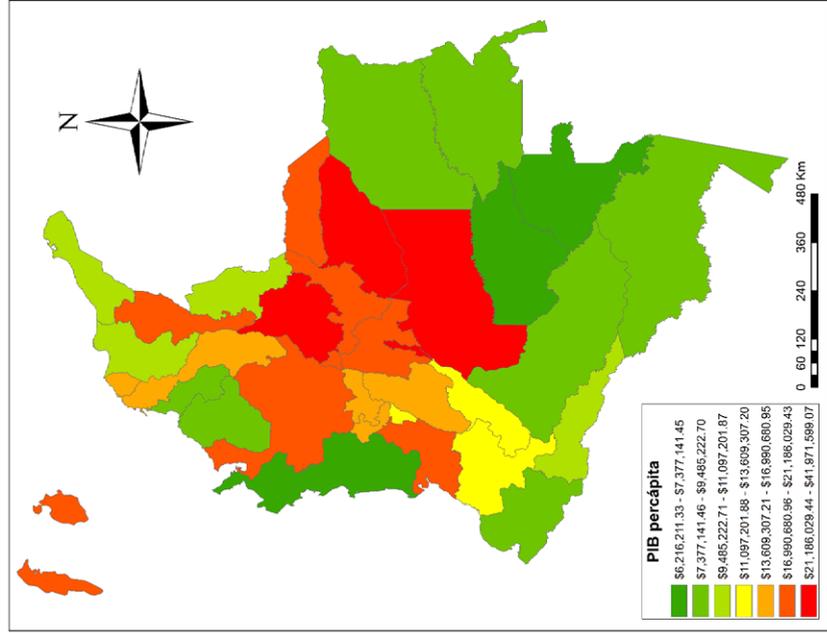


Fig. 4. Distribución del PIB per cápita por departamentos en pesos colombianos.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del DANE.

A pesar de estas adversidades, el PIB per cápita en los departamentos mencionados se ha mantenido como el más alto del país en los últimos cinco años. Sin embargo, es necesario diferenciar la producción mediante las actividades en explotación de minas y canteras concentradas en departamentos como Meta, Casanare, Putumayo, Cesar y la Guajira, enfocados en la extracción de combustibles fósiles y que abarcan entre el 50% al 30% de la producción total. Esta diferenciación de producción por minas y canteras por departamentos se expone en la Fig. 5.

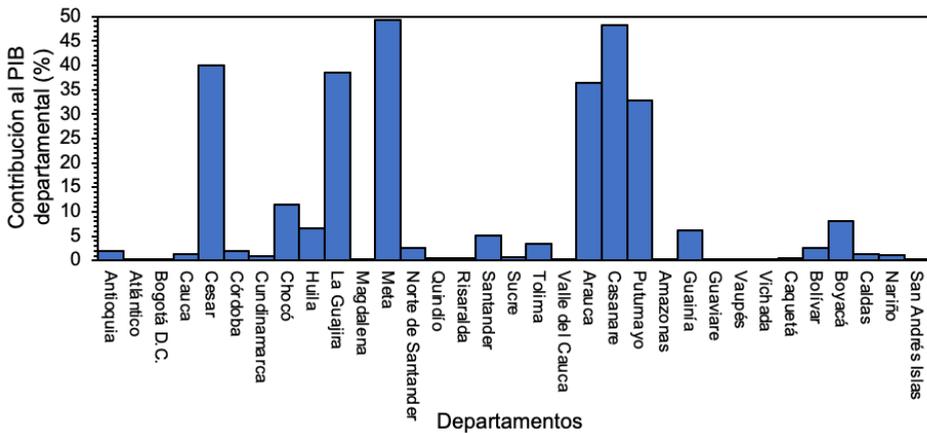


Fig. 5. Porcentaje por explotación de minas y canteras por departamentos.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del DANE.

Algunas actividades tienden a concentrarse según su distribución espacial, la cual tiende a ser desigual en ciertas áreas geográficas, como resultado de la existencia de economías de aglomeración que producen migración laboral, especialización, una mayor preponderancia y acaparamiento de actividades específicas de producción (Ramírez, Bedoya, & Díaz, 2016). Como ejemplo se expone la explotación de recursos generados en zonas particulares de la geografía nacional. La explotación de minas y canteras está directamente relacionada con la infraestructura de transporte de los recursos explotados por dicha labor, ya que en esta zona su producción y distribución es mayor. Como contraste, la Fig. 6 expone la relación de producción al PIB nacional y la contribución generada por la actividad de minas y canteras.

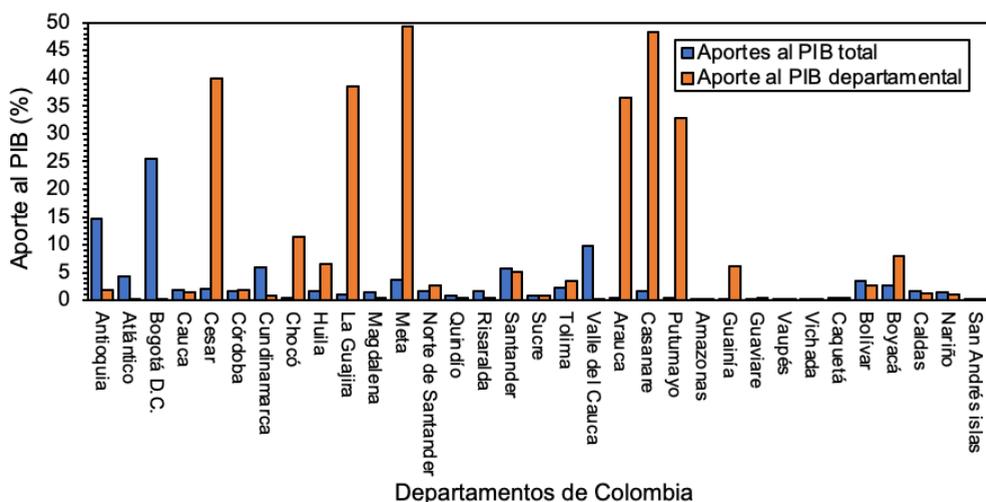


Fig. 6. Relación del aporte al PIB nacional y departamental por actividades de minas y canteras.

Fuente: elaboración propia a partir de datos del DANE.

Se observa que departamentos específicos, ubicados en el occidente, centro y sur-oriente del país, abarcan un aporte mucho mayor al producto interno bruto departamental por la explotación de hidrocarburos. Esto permite establecer las zonas de mayor representatividad en función de la infraestructura física implementada. No obstante, algunos departamentos no generan producción por este tipo de actividad y en estas zonas atraviesan redes de hidrocarburos, con el fin de transportar esta materia prima a zonas estratégicas. Por esto, las muestras evaluadas son consideradas como representativas, debido al papel protagónico de las actividades de explotación del petróleo e infraestructura destinada para su transporte.

4.2 Determinación de la cantidad de puntos de monitoreo

Al analizar las inspecciones realizadas en un periodo de diez años (2008-2019) como se expone en la Fig. 7, se observa un crecimiento progresivo de inspecciones ILI posterior al año 2010. Estos valores son coherentes con los cambios de política económica nacional centrados a la explotación intensiva de recursos del subsuelo (Ministerio de Minas, 2016). Además, se denota que la metodología ILI ha abarcado en el tiempo, una mayor implementación de su uso por la calidad y eficiencia

en su implementación. Sin embargo, posterior al 2013, se observa un decaimiento en su uso y una baja estabilidad a partir del 2016, producto de los menores ingresos percibidos por esta actividad y no se relaciona con la técnica de inspección en contraste con la consecución de conocimiento y experticia su implementación es cada vez mayor en campo.

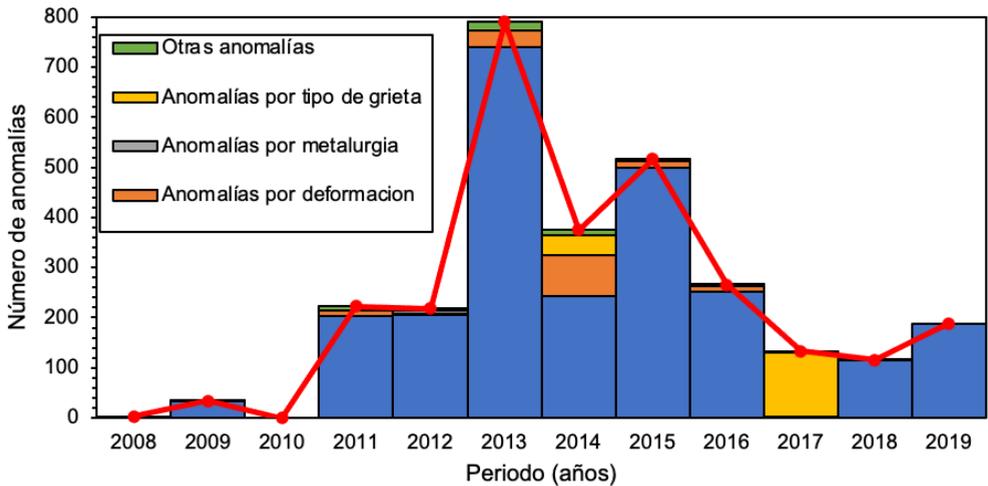


Fig. 7. Identificación de anomalías en el periodo de tiempo de evaluación por metodología ILI.

Fuente: elaboración propia.

Pese a una mayor implementación de esta técnica en el tiempo, los cambios generados en su uso obedecen a las variaciones de inversión en el mantenimiento de oleoductos. Esto es causado por la reducción intempestiva de ingresos externos del país por fenómenos económicos globales a partir del año 2014, producto del derrumbe de los precios internacionales del petróleo, que afectaron la economía colombiana y generaron incertidumbre económica, política, volubilidad en los mercados y reducción del crecimiento económico (International Monetary Fund (IMF), 2019; World Bank Group, 2019). Lo anterior afectó el dinamismo del sector petrolero, principalmente en las regiones productoras donde las inspecciones se acentúan con mayor impacto y el Sistema General de Regalías (SGR) generó una reducción de ingresos hasta de -7,8 billones de pesos (Contraloría General de la República, 2016). Posterior a esta crisis, su impacto en la reducción de inspecciones es evidente, pues se

acentúa en la actualidad, al continuar una dependencia del sector primario exportador en la economía colombiana.

4.3 Evaluación de anomalías encontradas en la inspección de redes de hidrocarburos

Con el fin de establecer los puntos de atención sobre la infraestructura de transporte, se obtiene información relacionada con el análisis de inspección basada en riesgo e información involucrada de la gestión. Para este fin, se usó la implementación de la técnica ILI para evaluar la integridad estructural de las redes de hidrocarburos, a través de la línea de tubería como técnica no destructiva, para detectar su daño interno (Bruschi, Vitali, Marchionni, Parrella, & Mancini, 2015). Al medir y registrar las irregularidades en las tuberías por corrosión, grietas, deformaciones u otros defectos, se promueve una operación segura, eficiente y rentable (Song et al., 2018). Con base en esta técnica, se han identificado 2863 anomalías en las redes de hidrocarburo evaluadas, diferenciadas en porcentajes e ilustradas en la Fig. 8.

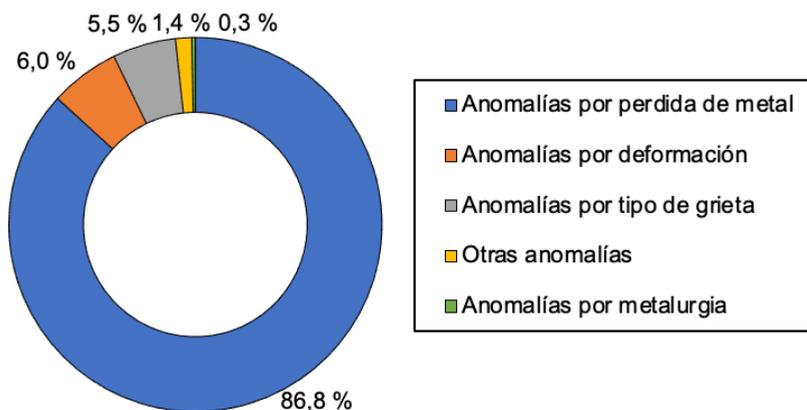


Fig. 8. Anomalías generales encontradas en la evaluación ILI.

Fuente: elaboración propia.

La evaluación por ILI expone que un 86,8% se relaciona con pérdida de metal y su identificación es mayoritaria en el tiempo, salvo por los periodos comprendidos entre el 2014 y 2017. Esto es coherente con los fenómenos de interacción entre la tubería y el medio, al producir diversos fenómenos de corrosión. Este tipo de anomalía es prácticamente

generalizada en todos los sistemas de ductos metálicos enterrados, que habitualmente presentan estos problemas y ha representado históricamente el 95% de anomalías en este tipo de redes. Conjuntamente, existe una probabilidad entre el 80% y 90% de que las áreas producto de pérdida de metal estén en susceptibilidad de sufrir perforaciones, derrame del fluido transportado y daño al medio ambiente. Por lo tanto, la técnica no destructiva ILI ha permitido vislumbrar el efecto integral que podría desencadenar la falta de monitoreo y evaluación de integridad de estas estructuras.

Además, permite la gestión del riesgo al considerar la seguridad en la operación y la validación de estos métodos, aceptados por la industria petrolera internacional, progresivamente adaptada y utilizada en el territorio nacional (Fig. 7), al responder y garantizar una gestión de integridad durante la vida útil del sistema. Esta confianza se genera a través de un programa de gestión de calidad fiable, debido a que defectos habituales por corrosión difieren en su naturaleza por anomalías de deformación, identificados en menor cantidad. Estos fenómenos son generados por actividades antrópicas durante la construcción del ducto o actuaciones posteriores de terceros. Asimismo, las grietas que pueden indicar un avanzado estado de degradación de la estructura e inminente fallo del sistema. En razón de lo expuesto, existen diversas gestiones al depender de los problemas identificados, que pueden generar graves daños a futuro, al no existir una inspección adecuada (Dueñas et al., 2009).

Las anomalías por deformación representan el 6% de todos los defectos encontrados, causados por la fuerza generada por el peso de la tierra desde la parte superior de la tubería. Esta fuerza deforma el tubo en una forma elíptica, denominadas deformación y deflexiones de anillo, respectivamente. Estas grandes deformaciones reducen el área de la sección transversal del flujo y crean riesgos potenciales en el transporte de fluidos y obstáculos en las pruebas. Otros factores que acompañan a las tuberías rígidas y a las tuberías de alta presión son el pandeo, las cargas sísmicas, comunes en las cordilleras andinas, esfuerzos causados por la expansión térmicas (Kishawy & Gabbar, 2010); paralelamente, existen influencias externas causadas por ataques terroristas que mediante explosiones generan deformaciones permanentes y en muchos casos derrame de hidrocarburos.

Otras anomalías encontradas corresponden a las generadas por grietas, las cuales pueden ser causadas por el proceso avanzado de corrosión o las fatigas generadas por pequeñas deformaciones continuas en la tubería. Asimismo, las grietas pueden desarrollarse en las tuberías, durante la fabricación, instalación o durante la vida útil. Hay muchas formas de agrietamiento, todas causadas por diferentes mecanismos, por lo que, la morfología del agrietamiento puede corresponder a diferentes fenómenos que simultáneamente atacan a la tubería. Así pues, es difícil identificar de forma fiable los diferentes tipos de fisuras basadas únicamente en los datos de inspección. La solución para identificar y gestionar las fisuras en las tuberías inicia con identificar las causas de fisuración con mayor detalle. Otras anomalías como las relacionadas con su estructura o denominadas por metalurgia, entre otras no identificadas corresponden al 1.7% del total, las cuales deben ser identificadas para proceder con una respuesta a su mitigación, ya que estas pueden generar otras anomalías que afectan la integridad de la tubería.

5. DISCUSIÓN

5.1 Importancia en la evaluación y gestión de calidad e integridad en las redes de transporte de hidrocarburos

La diversidad en el PIB per cápita influye considerablemente en algunos departamentos cuyos ingresos se han sostenido por la producción de recursos naturales estratégicos (RNE), obtenidos directamente de la naturaleza sin requerir mediación humana para su generación. Sin embargo, se ha construido una red de transporte de ductos y medios automotrices. A esto se suman a la fuerza de trabajo conjunta para su extracción y posterior transformación para la obtención de dividendos, al suplir la demanda interna y exportación a otros países, debido a la inflexibilidad de este bien de consumo. Consecuentemente, estos recursos han sostenido gran parte de la producción industrial del país como política pública para la obtención de fondos de inversión estatal. Aún así, posterior a la crisis petrolera mundial del 2014, la economía colombiana fue afectada considerablemente por la reducción de estas rentas y ha afectado la demanda externa, percepción de riesgo, y crecimiento económico del

país (Escuela de Economía y Finanzas Universidad EAFIT, 2019; Rojas, 2015; Toro-Córdoba et al., 2015).

No obstante, su uso sigue produciendo dividendos por el sostenimiento de la demanda interna del país y su producción se relaciona directamente con ciertas zonas geográficas específicas que han configurado una red de infraestructuras considerable. Por tal motivo, al analizar las diferentes inspecciones realizadas en el sur oriente colombiano y su ubicación geográfica, que implícitamente expone la gran demanda de recurso estratégico y, a su vez, la disposición de una oferta provista de una infraestructura existente. Al mismo tiempo, la integridad de esta estructura es soportada por la gestión de calidad mediante el mantenimiento de los medios de transporte en las difíciles condiciones meteorológicas y topográficas en la ubicación de estas redes y la implementación de las herramientas de inspección para reducir y controlar fallas generadas en cualquier punto. Esto ayuda a la mitigación de afectaciones en su funcionamiento, al reducir el impacto económico y ambiental generado y proveer continuidad en el servicio para generar condiciones socioeconómicas deseables (Papavinasam, 2017). Esto es coherente con la cantidad de evaluaciones e inspecciones encontradas, las cuales se diagraman geográficamente por departamento en la Fig. 9.

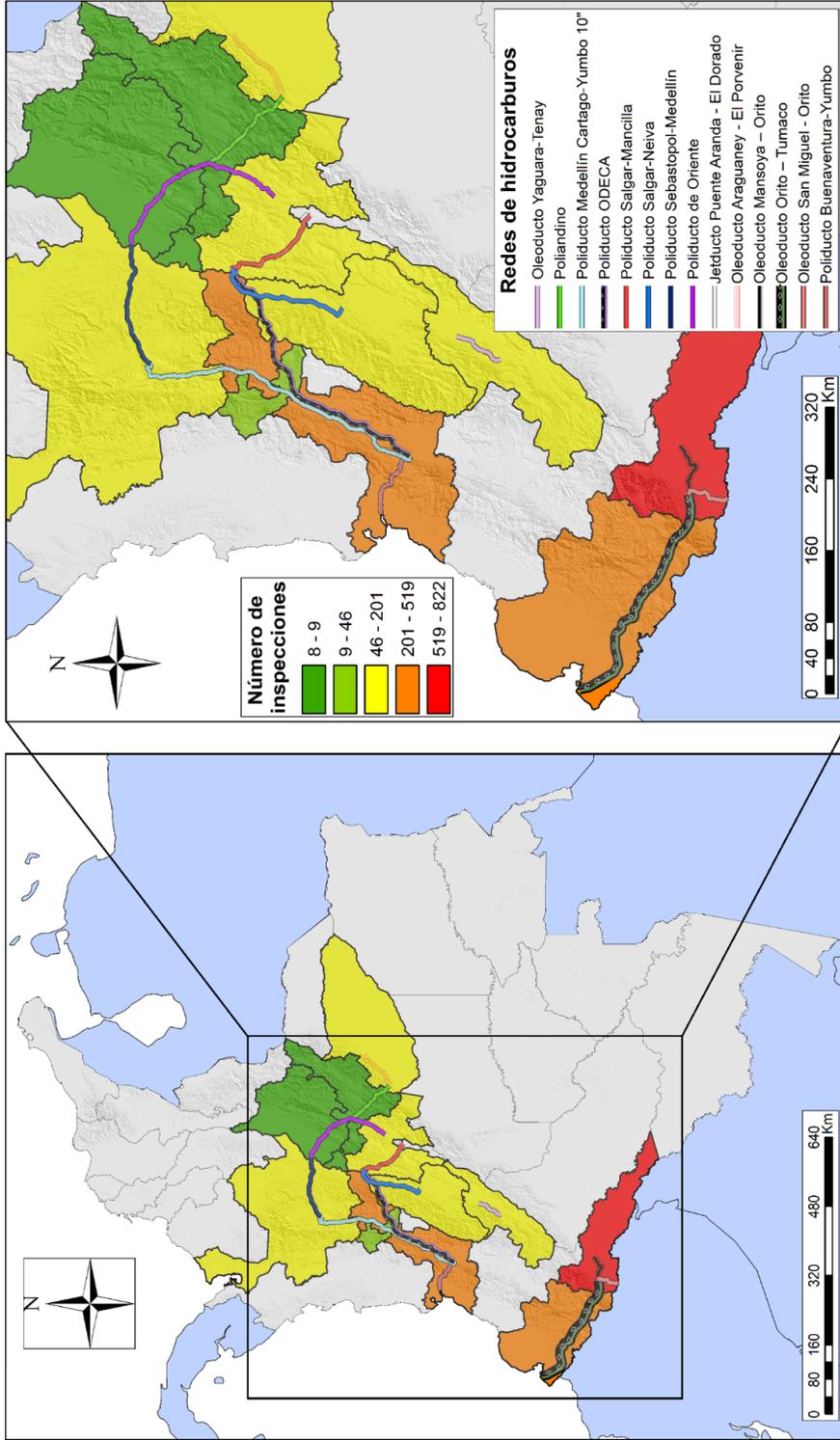


Fig. 9. Redes de transporte de hidrocarburos evaluadas.

Fuente: elaboración propia.

Por consiguiente, se reflejan mayores concentraciones de anomalías en la región pacífica y sur de Colombia, con una concentración notable en el Putumayo, al concentrar el 28,7% de estas evaluaciones de infraestructura de transporte de hidrocarburos; seguido del Valle del Cauca, con aproximadamente el 18,1 %; y Caldas en tercer lugar, con 10,8% de evaluaciones. Entre estos tres departamentos se conforman el 57,6% del total de inspecciones. Sin embargo, el contraste con el Putumayo genera solo el 0,4% del Total, en relación con la cantidad de inspecciones y lo diferencia sustancialmente con el número de anomalías identificadas. Estos resultados pueden evaluarse a partir de las condiciones topográficas y climáticas adversas a las condiciones y encrucijadas entre riqueza extractiva abundante (principalmente petróleo), pobre infraestructura, complejas condiciones geográficas y las difíciles condiciones sociales, producto del conflicto armado y el narcotráfico.

Estos factores han generado altos niveles de pobreza y rezago social e impactan en las actividades antrópicas relacionadas a procesos de inspección adecuados y contrarias a la integridad y gestión de calidad en las tuberías. Además, los efectos causados por grupos al margen de la ley han propiciado una alteración en la calidad del paisaje y en el ecosistema, provisión, regulación y soporte por el difícil acceso a la infraestructura de hidrocarburos. Esto puede generar un mayor impacto en el largo plazo, producto de la degradación y daños no detectados a tiempo (Ávila, Sambrano Sánchez, & Torres Tovar, 2014; Velásquez Arias, 2017). De manera que incrementa y dificulta las inspecciones realizadas en este punto geográfico de evaluación en relación con otros departamentos dentro de la muestra seleccionada, como se expone en la Fig. 10.

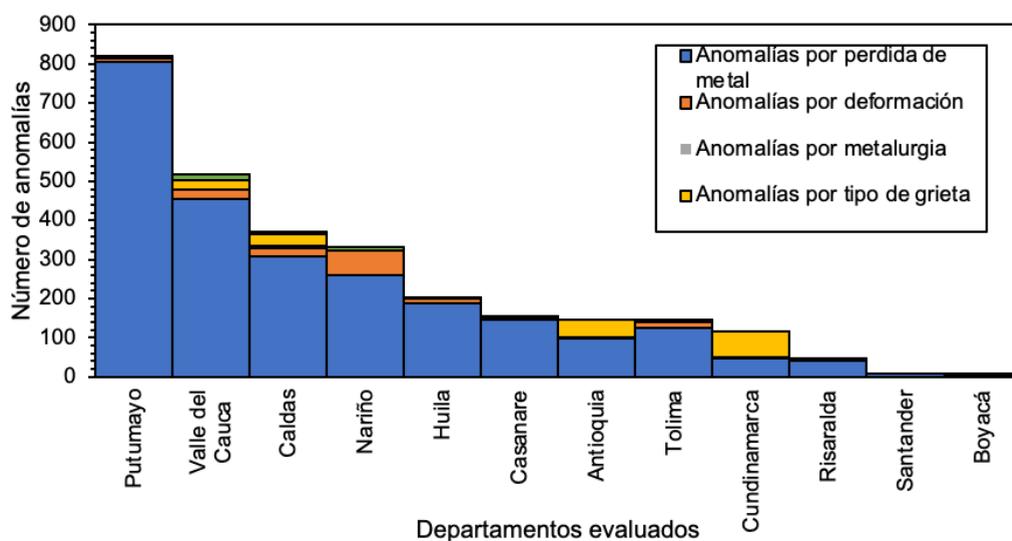


Fig. 10. Ubicación de inspección y anomalías encontradas por departamentos.

Fuente: elaboración propia.

5.2 Análisis de la pertinencia de los ensayos de inspección realizados

En las 2864 evaluaciones, de los 535 puntos de red identificados en diferentes zonas geográficas que componen el sur oriente colombiano, fue posible evaluar implícitamente la implementación de políticas en gestión de calidad para el control de integridad en tuberías. De modo que fue posible evaluar e identificar el desempeño de las técnicas implementadas para mitigar y controlar fallas causadas por el deterioro que afecta la infraestructura de transporte. Por esta razón, es posible evaluar los planes de calidad en inspección mediante la distribución en la programación o visitas de campo de inspección. Es notable una alta inspección no programada, como se observa en la Fig. 11.

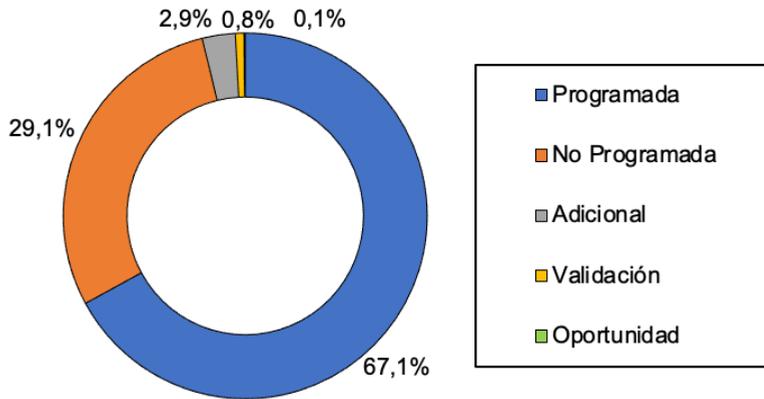


Fig. 11. Tipos de planificación de inspecciones realizadas por ILI.

Fuente: elaboración propia.

En los procesos de inspección se ilustra que una mayoría fue previamente programada y un 2,9% fue adicional. Esto permite inferir una implementación y control en la gestión en la calidad y el fomento en el uso de END como herramienta de evaluación idónea, junto con la determinación y conformidad de los entregables y adecuados resultados, gracias al procesos de monitoreo y registro de anomalías por ILI. Lo que facilitó la adecuada ejecución de actividades y el desempeño que aseguran las salidas en proyectos de inspección para la satisfacción de expectativas en los interesados (Project Management Institute, 2017). No obstante, un 29,1% manifiesta salidas no programadas, generadas cuando las anomalías impiden el buen desempeño del transporte; por ende, el sistema de calidad implementado debe propender por la disminución de tareas no programadas. Por lo cual, se dificulta por las condiciones geográficas de los sistemas de tuberías y su cruce a través de terrenos variados en topografías y condiciones ambientales difíciles, especialmente en la zona sur-oriental del territorio colombiano.

En razón de esto, el estado de estas redes cambia ampliamente a lo largo de toda su longitud y su ciclo de vida. Sin embargo, la inspección de toda la tubería mediante una metodología/herramienta de inspección específica no puede detectar los problemas de la tubería en toda su longitud, ya que las herramientas de inspección están diseñadas para detectar únicamente problemas específicos. Luego, al evaluar la gestión de

calidad, esta se relaciona con las capacidades de las empresas encargadas en la inspección de redes de transporte, junto con su método de evaluación. En la medida que estos se implementen, con mayor ímpetu, podrán responder en la disminución de situaciones inesperadas (Dey, 2004). Asimismo, esta capacidad se traduce en inversión para el fomento de la integridad en la infraestructura de transporte de hidrocarburos. Sin embargo, ha variado en los últimos diez años a causa de las fluctuaciones en la demanda de hidrocarburos y en el valor del barril de petróleo que impacta directamente en el alcance del tipo de inspección, como se manifiesta en la Fig. 12.

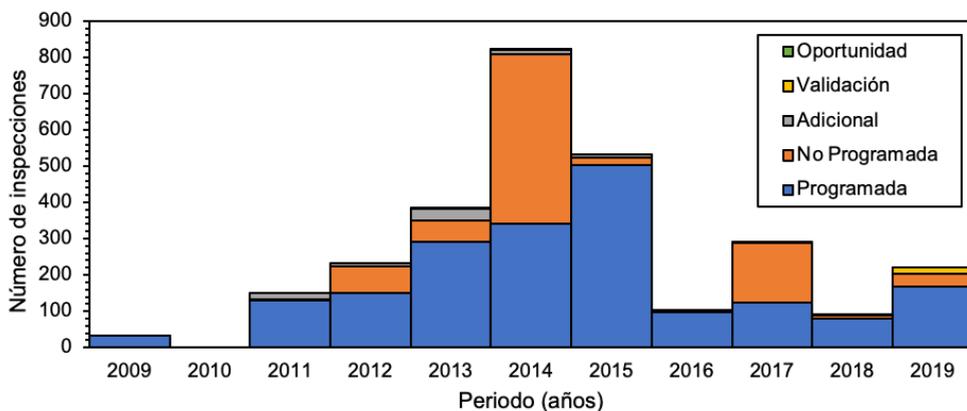


Fig. 12. Intervención implementada en la evaluación de redes de hidrocarburos entre el 2009-2019.

Fuente: elaboración propia.

Los procesos de gestión de integridad evaluados son, en su mayoría, programados y la relación de capacidades de producción con eventualidades no programadas. Lo anterior se relaciona con la solvencia financiera para formular una mayor cantidad de inspecciones en posibles eventualidades correctivas pasadas o para intervenciones mitigatorias beneficiosas para la formulación y verificación de entregables, junto con el cumplimiento de requisitos de aceptación especificados por los interesados (Iqbal et al., 2018; Song et al., 2018). La relación directa entre fuentes de financiación y mayor cantidad de inspecciones ILI se evidencia en la Fig. 12, ya que el sector minero-energético adquirió una importancia creciente para el país, al robustecer su producción y conformarse como uno de los sectores estratégicos de la economía nacional, puesto que el

transporte de petróleo y derivados representa más del 70% del sector de minas y canteras. No obstante, a partir de mediados de 2014 con la caída en el precio del petróleo se moderó drásticamente el ritmo de expansión de la implementación de técnicas de inspección por ILI (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD, 2016).

Aun así, esta actividad económica continúa su preponderancia en algunas zonas del territorio colombiano, gracias a los excedentes petroleros, generados por la demanda interna y exportaciones, especialmente provistas por la región del Putumayo (Paredes Vega & Hernández Leal, 2013). Esto se relaciona directamente con las fuentes de inversión del SGR, según se establece en la Ley 1530 de 2012 (Congreso de la República de Colombia, 2012) por el impuesto de transporte de aquellos tramos de oleoductos y gasoductos que atraviesen únicamente la jurisdicción de municipios productores de hidrocarburos, la distribución entre municipios no productores del mismo departamento o sus jurisdicciones sean atravesadas por otros tramos de oleoductos, en proporción a su longitud. A pesar de esto, el impacto en los precios internacionales ha reducido las inspecciones hasta un 87%.

Por lo demás, las futuras evaluaciones solo pueden responder a anomalías avanzadas que generarían fallas totales y no permitirían el transporte de hidrocarburos y una reducción en la generación de dividendos directos para los municipios, junto al impacto ambiental desatado. Así pues, los riesgos causados por las difíciles condiciones geográficas y de orden público que esta zona del país integra, se contrarrestan con la identificación de zonas con mayor propensión a sufrir este tipo de anomalías y generar políticas de gestión de calidad focalizadas (Paredes Vega & Hernández Leal, 2013). La evaluación de regiones, ilustrada en la Fig. 13, permite la identificación de zonas claves en concordancia con el mantenimiento y servicio, mediante al evaluación de integridad en tuberías para mitigar la generación de dividendos que nutren el SGR y, a su vez, proyectos de inversión.

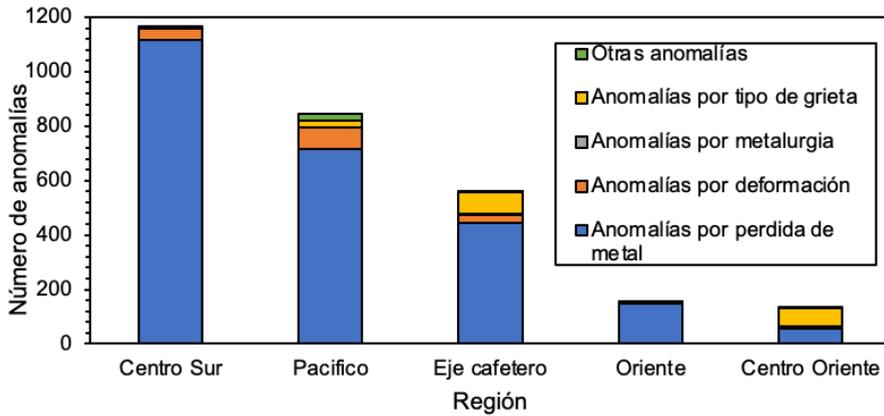


Fig. 13. Anomalías encontradas en las regiones por método III.

Fuente: elaboración propia.

Esto sustenta y robustece la necesidad de implementar acciones para incrementar la vida útil de la infraestructura destinada al transporte de hidrocarburos y atender con especificidad las zonas de mayor importancia estratégica. Con base en la cantidad de anomalías identificadas, relacionadas con condiciones externas e internas que afectan las tuberías y las gestiones de calidad, es posible brindar continuidad en el servicio, a partir de los planes de gestión. Esto permite predecir complicaciones incrementales en el tiempo o generar acciones de mitigación en la red de hidrocarburos por técnica de inspección, que establecen acciones de corrección, como se expone en la Fig. 14.

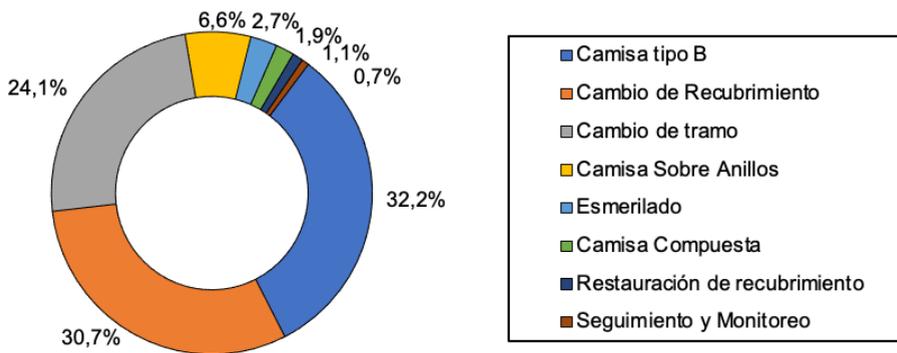


Fig. 14. Tipo de atención sugerida mediante evaluación III.

Fuente: elaboración propia.

La Fig. 14 expone la variedad de propuestas posterior a la evaluación en campo a través de inspecciones ILI. Estos resultados permiten la generación de un programa eficaz en la gestión de la integridad de tuberías al considerar maximizar la disponibilidad de las mismas a un costo mínimo sin comprometer las normas legislativas y de seguridad (Singh & Markeset, 2009). Por esto, las revisiones estructuradas concluyen en brindar una solución que permita proporcionar soluciones permanentes o aumentar el tiempo de vida de la infraestructura para transporte de hidrocarburos de conformidad con los requisitos técnicos y de calidad, sin reclamaciones posteriores (Project Management Institute, 2017).

En razón de lo expuesto, las mayores propuestas en atender las anomalías encontradas por método ILI se relacionan con la búsqueda de soluciones a largo y mediano plazo, en especial las de mayor demanda como las camisas tipo B, implementadas anomalías con pérdidas de metal causadas por corrosión interna o externa, defectos con pérdida de espesor y deformaciones o daños mecánicos que no presenten fisuras. Estas consideraciones permiten reparar permanentes de contención de presión, ya que estas camisas incluyen costura longitudinal y soldadura circunferencial en filete de sus extremos. Además, los cambios de recubrimiento son 1/3 parte de las medidas de corrección y proporcionan a la tubería un reemplazo a tramos degradados por agentes del exterior o interior de la tubería. Conjuntamente, los cambios de tramo reflejan un estado avanzado del daño en la red de transporte y requieren medidas invasivas que detienen el flujo de hidrocarburos temporalmente para la realización de corte y empalme para los diámetros, espesores de tubería y restituir la condición operativa y/o diseño del sistema.

En total, las tres metodologías para atender las anomalías suman un 87% de atenciones sugeridas en concordancia con una reparación sólida a mediano y largo plazo, en especial para evitar o mitigar situaciones que requieren paralizar temporalmente el flujo de hidrocarburos, al denotar que dichas actuaciones se generan en un estado avanzado de daño y, por consiguiente, se debe propender por reducir estas anomalías por detección temprana del mismo. Dadas las complejas condiciones externas, los procesos de gestión de calidad están enfocados en atender rápidamente dichos fenómenos (Ecopetrol, 2007, 2013, 2014). Entonces, el 13% de las recomendaciones restantes obedecen a cambios puntualizados en estados

no críticos, en su mayoría, y denota una solución temprana a los eventos que posteriormente podrían desencadenar soluciones de mayor costo. Así, es posible sostener que el tipo de evaluaciones buscan corregir el problema en lugar de prevenirlo. No obstante, se observa que una gran parte de los sistemas de transporte de hidrocarburos difieren según su ubicación geográfica, como se muestra en la Fig. 15.

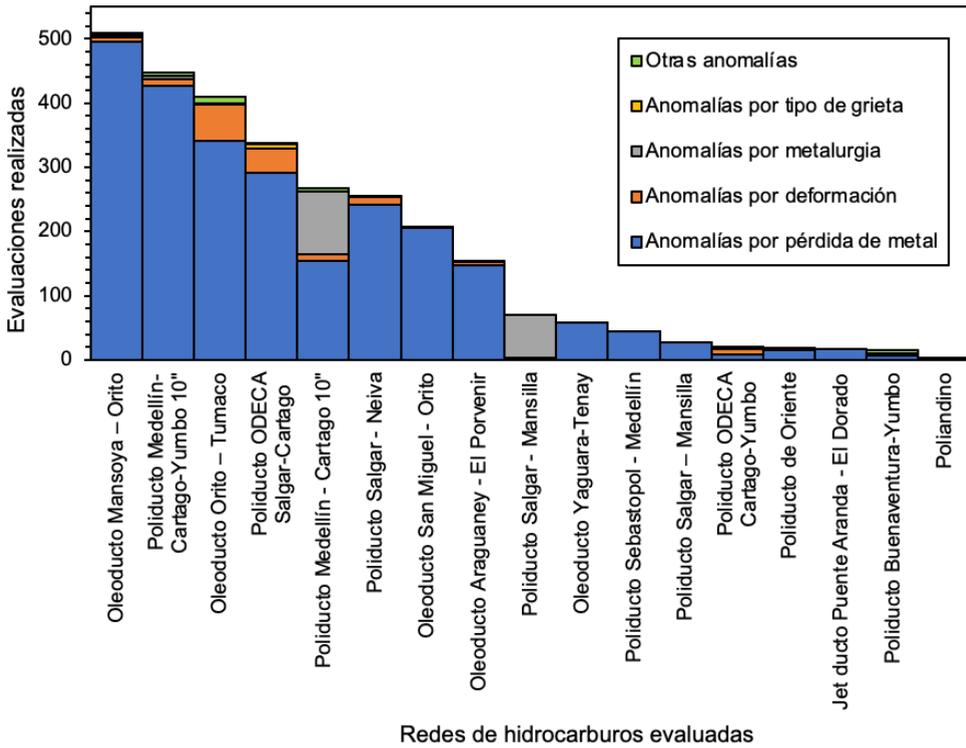


Fig. 15. Evaluación de anomalías por sistemas de red evaluados.

Fuente: elaboración propia.

La Fig. 15 expone una relación directa entre la cantidad de evaluaciones e inspecciones realizadas, junto con las complejas condiciones de orden público, socioeconómicas y ambientales que impactan directamente la integridad de la infraestructura de transporte evaluadas. Dada su representatividad, se infiere el tipo de daño generado y las acciones correctivas propuestas. Además, este enfoque conduce a su focalización y búsqueda de mejorar las gestiones de calidad para el correcto y permanente funcionamiento de los oleoductos ubicados en el

sur-oriente colombiano. De modo que las condicionantes que embeben la cantidad de inspecciones realizadas se relacionan con la operación de ductos e implicaciones del contexto particular colombiano, ya que las condiciones tropicales de humedad, reducción de inversión para su constante inspección y limitantes geográficas y topográficas del entorno complejizan la implementación adecuada de una gestión de calidad e integridad tendiente a la eficiencia y reducción de costos.

De la misma forma, el histórico conflicto armado que ha generado irregulares condiciones de orden público y dinámicas asociadas con delincuencia común y organizada hacen del transporte de hidrocarburos un objetivo susceptible a actividades ilegales. Entonces, las acciones de terceros a este tipo de infraestructura, como atentados terroristas y robo, han sido una constante en algunos de los sistemas de transporte del país en coherencia con los ductos de hidrocarburos evaluados (Ávila et al., 2014; Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) & Unión Temporal PLAN-IN-Planeación Inteligente SAS y SA&S – Soluciones Ambientales y Sociales, 2017).

6. CONCLUSIONES

Gracias a la presente investigación, fue posible establecer la gestión de calidad integrada en las técnicas y análisis de monitoreo mediante la implementación de inspecciones In Line Inspection (ILI), como ensayos no destructivos y sin afectar el continuo flujo y funcionamiento de las redes de transporte de hidrocarburos en el sur-oriente colombiano; y el establecimiento de una zona de estudio representativa, con el fin de estimar el impacto de estas tecnologías en gestión de calidad e integridad. Lo que permite generar confianza y continuidad en el servicio en un contexto socioeconómico y geográfico complejo.

Esto permitió relacionar las fuentes de anomalías con la dependencia de fenómenos económicos mundiales y nacionales que afectan directamente la inversión en inspecciones. No obstante, la implementación de estos ensayos en la gestión de calidad e integridad ha permitido medir, identificar y registrar irregularidades en las tuberías evaluadas y evidenciar la clasificación de las principales fallas encontradas para la generación de

soluciones específicas a las anomalías de corrosión, grietas, deformaciones u otros defectos, identificados mediante la implementación de estándares y soluciones focalizadas para requerimientos específicos, reducción de costos, prevención de daños al medio ambiente y el soporte de proyectos futuros.

Estas evaluaciones evidencian medidas correctivas a desperfectos que requieren soluciones que interfieren en el continuo flujo de hidrocarburos y generan gastos económicos elevados. Sin embargo, en el programa de gestión de calidad y riesgo, es posible formular los intervalos de inspección adecuados, acciones de mantenimiento y reparación, junto con la estimación de cambios o actualizaciones de las acciones en los procesos de planificación para inspección de tramos de red, la evaluación del estado de las anomalías, para lograr una predicción precisa de los mismos y optimizar los costos de forma eficaz. Por tal razón, se debe propender por aplicar medidas preventivas a través de la identificación temprana de defectos para la implementación de un sistema de gestión de calidad idóneo y un adecuado control de ensayos realizados a fines con las anomalías presentadas, para eliminar o reducir riesgos identificados en unión con los planes de la organización.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aire, G. E., & Chimezie, H. N. (2016). Comparison of Non-Destructive and Destructive Examinations in Today ´ s Inspection Practices. *19th World Conference on Non-Destructive Testing 2016*, 3–7. Retrieved from <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/>
- Andalucía, F. (2011). Ensayos no destructivos en la soldadura. *Revista Digital Para Profesioanles de La Enseñanza*, 13, 1–13. Retrieved from <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8259.pdf>
- Asociation for Project Management. (2019). *APM Body Of Knowledge* (7th editio). Buckinghamshire, England, United Kingdom: Association for Project Management.
- Avila, A. F., Sambrano Sánchez, E., & Torres Tovar, C. (2014). *Departamento de Putumayo*. Bogotá, D.C: Fundación Paz y Reconciliación.

- Bruschi, R., Vitali, L., Marchionni, L., Parrella, A., & Mancini, A. (2015). Pipe technology and installation equipment for frontier deep water projects. *Ocean Engineering*, 108(November), 369–392. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2015.08.008>
- Campbell, J. E., & Michael, S. (2012). *Geographic Information System Basics*. 248. Retrieved from <http://2012books.lardbucket.org/pdfs/geographic-information-system-basics.pdf>
- Christen, R., Bergamini, A., & Motavalli, M. (2009). Influence of steel wrapping on magneto-inductive testing of the main cables of suspension bridges. *NDT and E International*, 42(1), 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2008.08.003>
- Congreso de la República de Colombia. *Ley 1530 del 17 de mayo de 2012, Por la cual se regula la organización y el funcionamiento del Sistema General de Regalías.*, 66 § (2012).
- Contraloría General de la República. (2016). El impacto de la crisis petrolera en los ingresos del Gobierno Nacional Central - GNC. *Boletín Macro Fiscal*, 16, 1–4.
- Delgado, M., & Pérez, C. (2018). *Proyecciones de actividad económica regional 2017-2021*. Bogotá, D.C.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE. (2017). *Producto Interno Bruto por departamento, Base 2015*. Bogotá, D.C.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística –DANE. (2019). *Producto Interno Bruto desde el enfoque de la producción a precios constantes*. Retrieved from www.bcn.gob.ni/estadisticas/sector_real/produccion/1-3.xls
- Dey, P. K. (2004). Decision support system for inspection and maintenance: A case study of oil pipelines. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 51(1), 47–56. <https://doi.org/10.1109/TEM.2003.822464>
- Ding, L., Li, K., Zhou, Y., & Love, P. E. D. (2017). An IFC-inspection process model for infrastructure projects: Enabling real-time quality monitoring and control. *Automation in Construction*, 84, 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.029>
- Dueñas, M. C., Sepúlveda, H., & Vera, E. (2009). Metodología para el aseguramiento del riesgo por corrosión externa en ductos ente-

- rrados. *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 1(3), 1327–1337.
- Dwivedi, S. K., Vishwakarma, M., & Soni, P. A. (2018). Advances and Researches on Non Destructive Testing: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 5(2), 3690–3698. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.11.620>
- Ecopetrol. (2007). *Reparación mecánica y cambio de revestimiento en tubería enterrada*. Bogotá, D.C.
- Ecopetrol. (2013). *Reparación mecánica mediante instalación de camisas tipo B*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ecopetrol. (2014). *Procedimiento de corte y empalme de líneas de transporte de hidrocarburos transporte*. Bogotá D.C.
- Escuela de Economía y Finanzas Universidad EAFIT. (2019). *Economía Colombiana, Análisis de coyuntura*. Medellín, Colombia.
- Gabetta, G., Pagliari, F., & Rezgui, N. (2018). Hydrogen Embrittlement in pipelines transporting sour hydrocarbons. *Procedia Structural Integrity*, 13, 746–752. <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2018.12.124>
- Infrastructure and Projects Authority. (2018). *Analysis of the National Infrastructure and Construction Pipeline*. London, UK: Crown copyright.
- International Monetary Fund (IMF). (2019). *World Economic Outlook, Weakening of global expansion*. Davos, Switzerland.
- Iqbal, H., Waheed, B., Tesfamariam, S., & Sadiq, R. (2018). IMPAKT: Oil and gas pipeline integrity management program assessment. *Journal of Pipeline Systems Engineering and Practice*, 9(3), 1–7. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)PS.1949-1204.0000326](https://doi.org/10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000326)
- Johnson, B., Tesfaye, B., Wargacki, C., Hennig, T., & Suárez, E. (2018). Complex circumferential stress corrosion cracking - Identification, sizing and consequences for the integrity management program. *Proceedings of the Biennial International Pipeline Conference, IPC*, 1, 1–8. <https://doi.org/10.1115/IPC201878564>
- José Maya Villazón, E., Alonso Másmela, G., Rodríguez Yee, R., Eduardo Espinosa Velásquez Luis Helder Bejarano Velásquez, C., Enrique Guzmán Silva Asesor Despacho Vicecontralora General, O., & Adolfo Patiño Forero Diseño Diagramación, N. (2017). Boletín Autosuficiencia petrolera en Colombia. *Boletín Macro Sectorial*, 2(6), 1–6. Retrieved from <https://>

- www.contraloria.gov.co/documents/463406/484739/Boletín+Macrosectorial+No.+06+%28pdf%29/f01dfce0-493c-423a-9148-244fce46edc1?version=1.2
- Kishawy, H. A., & Gabbar, H. A. (2010). Review of pipeline integrity management practices. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 87(7), 373–380. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2010.04.003>
- Koch, G., Varney, J., Thopson, N., Moghissi, O., Gould, M., & Payer, J. (2016). *International Measures of Prevention, Application, and Economics of Corrosion Technologies Study*. Retrieved from <http://impact.nace.org/>
- Koch, Gerhardus. (2017). Cost of corrosion. In *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission* (pp. 3–30). <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101105-8.00001-2>
- Mejía Aguilar, G., & Hernández, T. C. (2007). Seguimiento de la productividad en obra: técnicas de medición de rendimientos de mano de obra. *UIS Ingenierías*, (2), 45–59.
- Melo Becerra, L. (2017). El gasto público en Colombia: Algunos aspectos sobre su tamaño, evolución y estructura. *Borradores de Economía*, 1003(June), 1–44.
- Ministerio de Minas. (2016). *Política Minera de Colombia, Bases para la minería del futuro*. <https://doi.org/10.1080/08831157.2012.626378>
- Myers, D. (2017). *Construction Economics a new approach* (Fourth ed.; Routledge, ed.). London and New York: Taylor & Francis Group.
- Olaya, V. (2014). *Sistemas de Información Geográfica*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Oppong, G. D., Chan, A. P. C., & Dansoh, A. (2017). A review of stakeholder management performance attributes in construction projects. *International Journal of Project Management*, 35(6), 1037–1051. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2017.04.015>
- Pacana, A., & Siwiec, D. (2021). Analysis of the Possibility of Used of the Quality Management Techniques with Non- Destructive Testing. *Technical Gazette*, 28(1), 45–51.
- Pachón Pedraza, N. A., Perdomo Montealegre, J. I., & Rodríguez Serrezuela, R. (2018). Feasibility Analysis for Creating a Metrology Laboratory Serving the Agribusiness and Hydrocarbons

- in the Department of Huila, Colombia. *International Journal of Applied Engineering Research*, 12(6), 3373–3378.
- Papavinasam, S. (2017). Corrosion management. In *Trends in Oil and Gas Corrosion Research and Technologies: Production and Transmission*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101105-8.00003-6>
- Paredes Vega, J. E., & Hernández Leal, G. H. (2013). Composición de la economía de la región suroriente de Colombia. *Ensayos sobre Economía Regional*, 51, 1–47. Retrieved from http://www.banrep.gov.co/sites/default/files/publicaciones/archivos/eser_51_suro-riente_2013.pdf
- Pérez, N. (2004). *Electrochemistry and corrosion science*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Peuquet, D. J., & Marble, D. F. (1990). *Introductory readings in Geographic Information Systems*. Bristol, PA: Taylor & Francis Inc.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD. (2016). *La competitividad del sector de hidrocarburos en las diferentes regiones de Colombia*.
- Project Management Institute. (2017). *Guía de los FUNDAMENTOS PARA LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS (Guía del PMBOK®)* (Project Ma; I. Project Management Institute, ed.). Newtown Square, Pennsylvania: PMI Book Service Center.
- Project Management Institute (PMI). (2017). *Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK)* (I. Project Management Institute, ed.). Retrieved from info@bookorders.pmi.org
- Ramírez, J. M., Bedoya, J. G., & Díaz, Y. (2016). Geografía económica, descentralización y pobreza multidimensional en Colombia. *Cuadernos de Fedesarrollo*, (54), 1–114. Retrieved from <https://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/2894%0Ahttp://www.repository.fedesarrollo.org.co/handle/11445/2894>
- Razzak Rumane, A. (2021). *Quality Management in Oil and Gas Projects*. Boca Raton, FL: CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, LLC Te.
- Rojas, D. M. (2015). La región andina en la geopolítica de los recursos estratégico. *Análisis Político*, 83 (enero-abril), 88–107.

- Sarmiento-Rojas, J.-A., González-Sanabria, J. S., & Hernández Carrillo, C. G. (2020). Analysis of the impact of the construction sector on Colombian economy. *Tecnura*, 24(66), 109–118. <https://doi.org/10.14483/22487638.16194>
- Singh, M., & Markeset, T. (2009). A methodology for risk-based inspection planning of oil and gas pipes based on fuzzy logic framework. *Engineering Failure Analysis*, 16(7), 2098–2113. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2009.02.003>
- Song, H., Yang, L., Liu, G., Tian, G., Ona, D., Song, Y., & Li, S. (2018). Comparative Analysis of In-line Inspection Equipments and Technologies. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 382(3), 0–7. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/382/3/032021>
- Sun, Y., Kang, Y., & Qiu, C. (2011). A new NDT method based on permanent magnetic field perturbation. *NDT and E International*, 44(1), 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.ndteint.2010.01.007>
- Toro-Córdoba, J. H., Garavito-Acosta, A. L., López-Valenzuela, D. C., & Montes-Uribe, E. (2015). El choque petrolero y sus implicaciones en la economía colombiana. *Borradores de Economía*, 906. Retrieved from: <http://repositorio.banrep.gov.co/handle/20.500.12134/6217>
- Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), & Unión Temporal PLAN-IN-Planeación Inteligente SAS y SA&S – Soluciones Ambientales y Sociales. (2017). *EAE de los escenarios de expansión de transporte de hidrocarburos - PIAPC*. Bogotá, D.C: UT Plan-IN – SA&S.
- Vanaei, H. R., Eslami, A., & Egbewande, A. (2017). A review on pipeline corrosion, in-line inspection (ILI), and corrosion growth rate models. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 149(Ili), 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijpvp.2016.11.007>
- Velásquez Arias, J. A. (2017). Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de Investigación Agraria y Ambienta*, 8(1), 151–167.
- Wang, L. C. (2008). Enhancing construction quality inspection and management using RFID technology. *Automation in Construction*, 17(4), 467–479. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2007.08.005>

- World Bank Group. (2019). *Global Economic Prospects, June 2019: Heightened Tensions, Subdued Investment*. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1398-6>
- Xie, M., & Tian, Z. (2018). A review on pipeline integrity management utilizing in-line inspection data. *Engineering Failure Analysis*, 92(May), 222–239. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2018.05.010>
- Xiong, X., Adan, A., Akinci, B., & Huber, D. (2013). Automatic creation of semantically rich 3D building models from laser scanner data. *Automation in Construction*, 31, 325–337. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.10.006>

CAPACIDAD DE ABSORCIÓN EN GERENCIA DE PROYECTOS COMO PREDICTOR DEL CUMPLIMIENTO DE LAS RESTRICCIONES DE CALIDAD EN ORGANIZACIONES DE GRAN TAMAÑO

Fajardo-Moreno, William¹; Diez-Silva, H. Mauricio²; Rueda Varón, Milton³

1. INTRODUCCIÓN

En un ámbito altamente competitivo provocado por la globalización, las organizaciones buscan alternativas estratégicas para mantenerse vigentes en el mercado. Esto se convierte en un desafío por los cambios tan radicales y continuos que se presentan en la actualidad. Sin embargo, la respuesta proactiva a través de continuos esfuerzos de mejora se ha constituido como un elemento clave para el éxito organizacional. En este sentido, las organizaciones están empleando cada vez más la gestión por proyectos como medio para lograr sus objetivos estratégicos. De acuerdo con el Project Management Institute – PMI, alrededor del 58% de las organizaciones no entienden completamente el valor de gestión de proyectos y subestiman esta competencia estratégica. Como resultado, más del 50% de sus proyectos en promedio fracasan directamente. Es así como la implementación efectiva de la estrategia de las organizaciones ha abordado la importancia de la gestión organizacional de proyectos como un área de enfoque importante para dicha implementación, en la cual, la meta de la gestión organizacional de proyectos no se limita a lograr proyectos en tiempos preestablecidos, dentro del presupuesto y de conformidad con las especificaciones técnicas y de calidad. El objetivo también se centra en crear valor para el negocio.

1 Facultad de ingeniería, Universidad EAN. wfajard74913@universidadean.edu.co

2 Facultad de ingeniería, Universidad EAN. hdiez@universidadean.edu.co

3 Facultad de ingeniería, Universidad EAN. mramon.d@universidadean.edu.co

Dicha orientación refleja una organización moderna que aporta valor a sus clientes a través de proyectos y es impulsada por el entorno empresarial y los mercados, que exigen que las organizaciones sean cada vez más receptivas y dinámicas (Ingason, 2015). Con base en la gestión organizacional de proyectos, las compañías tratan de identificar los factores clave, recursos y capacidades que hacen posible una adaptación efectiva a la dinámica de su entorno. Esto ha llevado a explorar diferentes alternativas. Una de ellas se centra en las capacidades dinámicas que se definen como los procesos de la empresa que usan insumos, específicamente los procesos para integrar, reconfigurar, obtener y liberar dichos recursos, para igualar e incluso crear un cambio de mercado. Por lo tanto, las capacidades dinámicas son las rutinas organizativas y estratégicas por las cuales las empresas desarrollan nuevas configuraciones de recursos a medida que los mercados emergen, chocan, se dividen, evolucionan y mueren (Eisenhardt & Martin, 2000). Dentro de dichas capacidades dinámicas hay una que representa singular valor para la operación armónica de las organizaciones y los entornos que la rodean, es una capacidad dinámica relacionada con la creación y utilización del conocimiento que mejora la habilidad de una empresa para obtener y mantener la ventaja competitiva (Zahra & George, 2002). Esta capacidad fue propuesta inicialmente en 1989 por Cohen & Levinthal y fue denominada como capacidad de absorción.

En esta investigación se busca establecer las relaciones de la capacidad de absorción con otros aspectos importantes en la gerencia de proyectos como la gestión de la calidad. No obstante, algunos de sus aspectos básicos están bien definidos y establecidos a través de estándares internacionales conocidos y ampliamente utilizados. Específicamente en la gerencia de la calidad en proyectos, se abordan desde la perspectiva de los procesos necesarios para garantizar que este último satisfaga las necesidades para lo cual fue emprendido, lo que se constituye como una restricción a nivel del cumplimiento del alcance, el tiempo y el costo, aspectos considerados por mucho tiempo como la triple restricción de los proyectos.

Con el fin de establecer dichas relaciones entre la capacidad dinámica de absorción y la calidad en gerencia de proyectos, se analizaron datos recolectados de 54 organizaciones catalogadas como grandes empresas por

el nivel de sus ingresos en 2019. Con estos datos como base, se propone inicialmente una caracterización de las organizaciones que componen el estudio, para contextualizar la investigación. Posteriormente, se plantea una regresión lineal para establecer una ecuación que determine el grado de cumplimiento de las restricciones de calidad a partir de la capacidad dinámica de absorción. Este aspecto es complementado por un análisis de conglomerados que relaciona las agrupaciones por la capacidad dinámica de absorción y el cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos de las organizaciones objeto de este estudio.

Con la investigación se pretende generar una base de conocimiento aún no explorada y sin evidencia empírica que permita aportar un método estructurado para que las organizaciones orientadas por proyectos utilicen su conocimiento en pro de impactar los requerimientos y necesidades de los clientes/beneficiarios de los proyectos que desarrollan.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Este trabajo presenta la capacidad dinámica de absorción como variable para predecir el cumplimiento de las restricciones de calidad en los proyectos. A continuación, se presentan los referentes teóricos que soportan esta investigación.

2.1 Capacidades dinámicas

Las capacidades dinámicas tienen definiciones desde varias perspectivas, sin embargo, la mayoría hacen alusión a procesos o habilidades que permiten el desarrollo de competencias a partir de su flexibilidad para combinarse y ajustarse a condiciones particulares. En la Tabla 1 se presentan definiciones de las capacidades dinámicas desde diferentes perspectivas.

Tabla 1. Definiciones de capacidades dinámicas.

Autor	Año	Definición
Teece & Pisano	1994	Capacidad de respuesta oportuna e innovación de productos rápida y flexible, junto con la capacidad de gestión para coordinar y desplegar competencias internas y externas efectivamente.
Griffith & Harvey	2001	Una combinación de recursos que son difíciles de imitar, incluida la coordinación efectiva de relaciones interorganizacionales, a nivel mundial, que pueden proporcionar una ventaja competitiva firme.
Zahra, Sapienza, & Davidsson	2006	Las habilidades para reconfigurar los recursos y las rutinas de una empresa de la manera prevista y considerada apropiada por su principal decisor.
Helfat & Martin	2015	Las capacidades con las que los gerentes crean, amplían y modifican las formas en que las empresas se ganan la vida ayudan a explicar la relación entre la calidad de las decisiones gerenciales, el cambio estratégico y el desempeño organizacional.

Fuente: adaptado de Albort-Morant, Leal-Rodríguez, Fernández-Rodríguez, & Ariza-Montes (2018).

Las capacidades dinámicas son apreciadas por las organizaciones debido a que les permiten lograr una ventaja competitiva sostenible proveniente de sus recursos y capacidades. Esta idea hace parte de la visión basada en recursos o RBV (por sus siglas en inglés), bajo esta perspectiva se enfatiza que la ventaja competitiva proviene de aquellos recursos y capacidades que son propiedad y están controladas por una sola firma (Wernerfelt, 1984). Por ende, la búsqueda de ventaja competitiva se ha centrado en aquellos recursos que se encuentran al interior de las organizaciones (Dyer & Singh, 1998). Se podría considerar que las capacidades dinámicas con enfoque para la gerencia de proyectos representan una cualidad de la gestión propia del proyecto que permite generar competencias internas, a través de una coordinación de recursos, de un capital humano adecuado y de nuevas dinámicas gerenciales para que las organizaciones tengan mejor desempeño global.

2.1.1 Capacidad de absorción

La capacidad de absorción se refiere a un tipo de capacidad dinámica. El concepto inicial fue propuesto como la habilidad de una empresa para reconocer el valor de información nueva y externa, asimilarla y aplicarla a fines comerciales (Cohen & Levinthal, 1990). Este concepto ha evolucionado con los años. Es así como Lane & Lubatkin (1998),

tiempo después, incorporan nuevos elementos como la consideración de la influencia recíproca de las organizaciones que se encuentran en el mismo medio.

Con base en los aportes previos, Zahra & George (2002) presentan en su trabajo una reconceptualización del concepto original, con especial énfasis en la adquisición y transformación del conocimiento externo al interior de la organización. Este aporte origina una cuarta dimensión de la capacidad de absorción a las tres consideradas en el modelo original. Se considera la adquisición, asimilación, transformación y explotación. Derivado de estos aportes también se refuerza la relevancia de los subconjuntos de la capacidad de absorción, en la que se establece una subdivisión en capacidad de absorción potencial y realizada.

Otro aporte significativo al desarrollo del concepto surge del trabajo de Lane, Koka, & Pathak (2006), al proponer una definición actualizada de la capacidad de absorción que se basó en los trabajos previos. De acuerdo con esto se propuso definirla como la habilidad de una empresa para utilizar el conocimiento de su entorno externo a través de los siguientes procesos secuenciales: en el primer lugar se encuentra el reconocimiento y entendimiento del nuevo conocimiento externo; en segundo, la asimilación del nuevo conocimiento valioso; y tercero, la utilización del nuevo conocimiento para generar nuevo conocimiento y para lograr resultados comerciales.

2.1.1.1 *Subconjuntos*

Los subconjuntos de la capacidad de absorción son términos que se emplean para referirse a dos subtipos de la capacidad de absorción, es así como Zahra y George (2002) proponen que la capacidad de absorción está subdividida en dos conjuntos importantes: el primero es la capacidad de absorción potencial – PAC. Esta se refiere a la receptividad de las organizaciones para adquirir y asimilar conocimiento externo. El segundo es la capacidad de absorción realizada – RAC. Se refiere a la transformación y explotación del conocimiento y refleja la capacidad de la firma para aprovechar el conocimiento que absorbe. Cada uno de estos subconjuntos está asociado a una dimensión de la capacidad de absorción. En la Figura 1 se presenta dicha asociación.

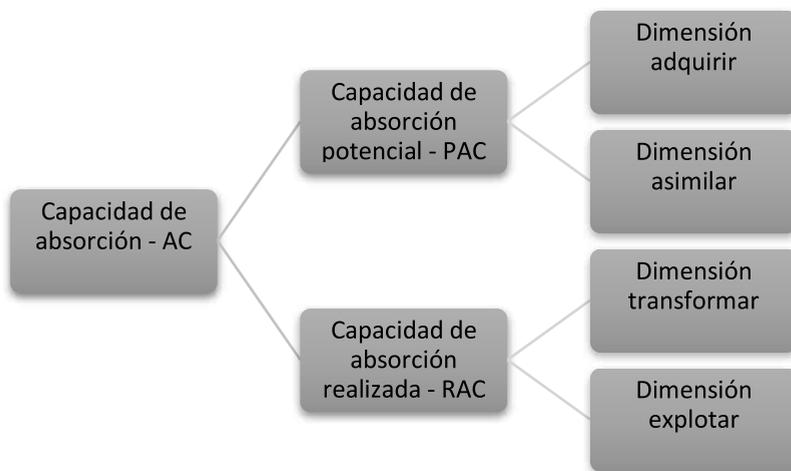


Fig. 1. Asociación de los subconjuntos y dimensiones de la capacidad de absorción.

Fuente: elaboración propia basada en Zahra y George (2002).

2.1.1.2 Dimensiones

Las dimensiones se refieren a los procesos secuenciales que se realizan al interior de la organización para el tratamiento del conocimiento externo. Estas dimensiones son las que posibilitan un adecuado tránsito del conocimiento y el logro de los resultados esperados para la organización en términos de la aplicación comercial del conocimiento. En la Tabla 2 se presentan las definiciones de las dimensiones.

Tabla 2. Definiciones de dimensiones de la capacidad de absorción.

Subconjunto	Dimensión	Definición
Capacidad de absorción potencial - PAC	Adquisición	Identificación y consumo de conocimiento que es potencialmente relevante para la empresa (Zahra & George, 2002).
	Asimilación	Capacidad de una empresa para desarrollar procesos y rutinas útiles para analizar, interpretar y comprender el conocimiento adquirido externamente (Tessa C. Flatten, Engelen, Zahra, & Brettel, 2011).
Capacidad de absorción realizada - RAC	Transformación	Combinación del conocimiento existente y el nuevo conocimiento adquirido y la actualización correspondiente de las rutinas organizacionales (Tessa Christina Flatten, Greve, & Brettel, 2011).

Subconjunto	Dimensión	Definición
	Explotación	Capacidad organizativa que se basa en las rutinas que permiten a las empresas refinar, ampliar y aprovechar las competencias existentes o crear nuevas en las que se integre el conocimiento adquirido y transformado en sus operaciones (Zahra & George, 2002).

Fuente: elaboración propia.

Las dimensiones de la capacidad de absorción son el primer nivel de análisis y son el origen del desarrollo del concepto. En la Figura 2 se presenta la organización de las dimensiones y subconjuntos de acuerdo con lo anteriormente expuesto.

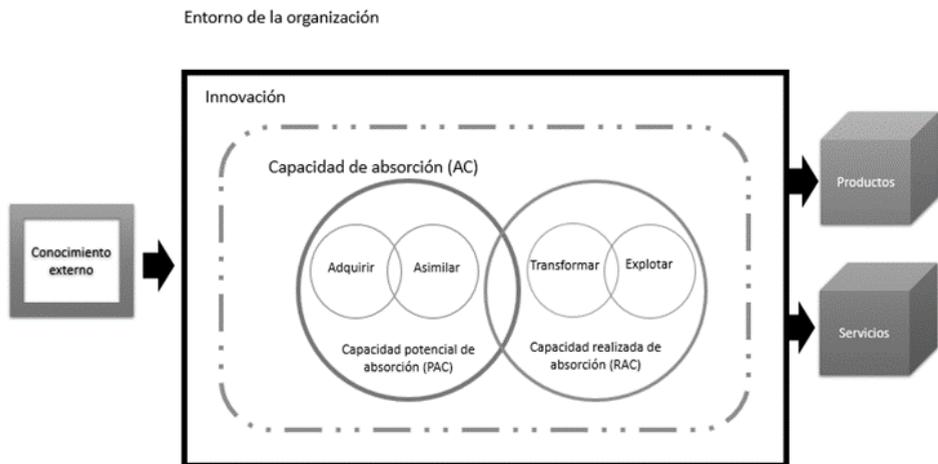


Fig. 2. Articulación de las dimensiones en el modelo de capacidad de absorción.

Fuente: elaboración propia.

2.2 Gerencia de proyectos

Knutzen & Blitz (1991) describieron a la gerencia de proyectos como un conjunto de principios, métodos, herramientas y técnicas para la gestión eficaz del trabajo orientado a objetivos en el contexto de un trabajo específico y único, posteriormente, Havranek (1998) propuso que es el arte y la ciencia de planificar, organizar, integrar, dirigir y controlar todos los recursos comprometidos, a lo largo de la vida de un proyecto, para lograr los objetivos predeterminados de alcance, calidad, tiempo, costo y satisfacción del cliente. El Project Management Institute - PMI (2017) definió la gerencia de proyectos como la aplicación de

conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas a las actividades del proyecto para cumplir con sus requisitos. En este mismo año, Harold Kerzner (2017) presenta la gerencia de proyectos como el proceso para lograr los objetivos a través de la estructura organizacional tradicional y sobre las especialidades de los individuos que la conforman.

En la mayoría de definiciones presentadas, el cumplimiento de los objetivos del proyecto juega un papel determinante en la gerencia de proyectos, específicamente el PMI se refiere a la importancia de considerar las restricciones dentro de las cuales operan los proyectos. Las restricciones pueden ser entendidas como factores limitantes en un proyecto (Furman, 2011) y su relevancia radica en que la importancia de la restricción cambia en cada uno (Project Management Institute, 2017).

2.2.1 Restricciones de los proyectos

Como se presentó anteriormente, los proyectos operan en un ambiente que incluye una serie de factores limitantes. Dichos factores, denominados restricciones, son impuestos por la estructura y marco de gobernanza de cada organización (Project Management Institute, 2017). En este sentido, es clave que el gerente de proyecto las conozca y las pueda considerar de cara al cumplimiento de los objetivos. Esto, sin duda, requiere de una combinación de competencias y habilidades del gerente de proyecto para crear un entorno de confianza en su papel de interfaz entre la organización y el proyecto (Biorollo & Fajardo-Moreno, 2020). Para Pinto (2016) las restricciones son elementos que se deben considerar para lograr el éxito en los proyectos y que dependen de su naturaleza, entre los cuales se pueden encontrar el tiempo, el presupuesto, la funcionalidad o calidad y la satisfacción del cliente. Para el presente trabajo se centrará el análisis en las restricciones que se presentan en la gerencia de la calidad del proyecto.

2.2.1.1 Restricción de calidad en los proyectos

Las restricciones de calidad en los proyectos son abordadas desde el área de conocimiento de la gerencia de la calidad. Dicha área incluye los procesos que permiten adoptar la política de calidad de la organización, en lo que se refiere a la planeación, la gestión y el control de los requisitos

de calidad, tanto del proyecto como del producto (Project Management Institute, 2017). En la Figura 3 se presentan los procesos asociados a la gestión de calidad en proyectos. En esta figura se muestra cómo los procesos interactúan en forma secuencial para ir desde la planificación hasta la validación del alcance del proyecto y del producto, en el que se genera un constante flujo de información entre sí y entre otros procesos para la gestión de proyectos.

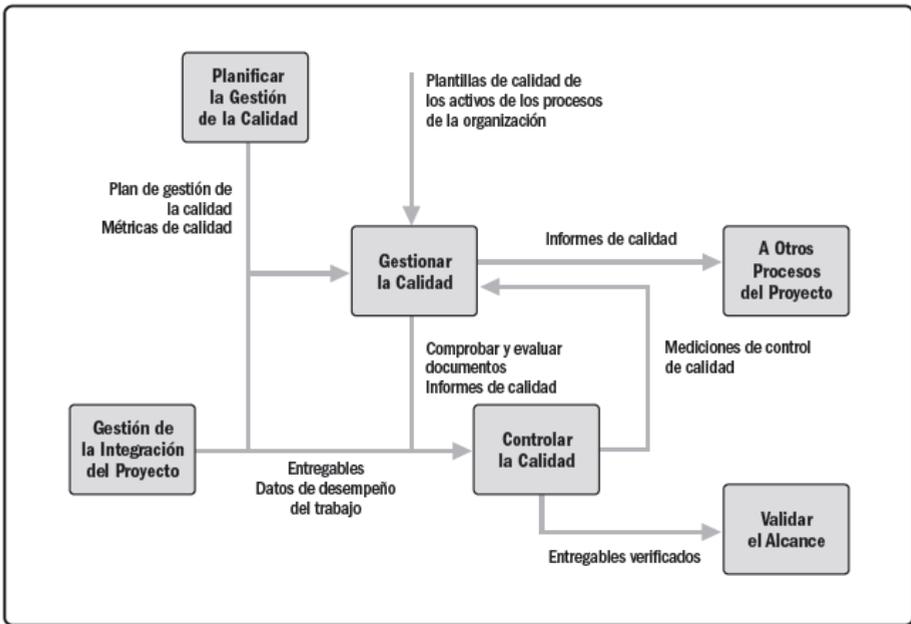


Fig. 3. Relaciones de los procesos de gestión de la calidad del proyecto.

Fuente: Project Management Institute, 2017.

La gerencia de la calidad del proyecto se centra en el cumplimiento de los criterios de calidad. En este sentido, la calidad se puede definir como las características que se deben lograr para alcanzar la satisfacción del cliente (Juran & Godfrey, 1999), o como el grado en el que un conjunto de características inherentes de un objeto cumple con los requisitos (Organización Internacional de Normalización, 2015). En las dos definiciones se presenta el cumplimiento de requisitos o características como factor determinante en la calidad. El cumplimiento de los requisitos de calidad trae consigo una serie de beneficios como la satisfacción del cliente, la oportunidad de derivar trabajos futuros por cuenta de un

desempeño destacado del proyecto, la reducción de costos asociados a productos no conformes, re-procesos y la generación de desperdicios, el aumento de la eficiencia como resultado del impacto de la calidad en los recursos de proyecto y finalmente el mejoramiento de las utilidades a raíz del cumplimiento de los límites presupuestales del proyecto (Rose, 2005).

3. MARCO METODOLÓGICO

Para la presente investigación se analizaron datos de 54 empresas colombianas, las cuales, durante 2019 tuvieron un nivel de ingresos ordinarios superiores a 71 mil millones de pesos. Los datos fueron obtenidos a través de un instrumento enviado a gerentes de proyectos de cada una de las organizaciones analizadas. Este instrumento capturó 56 variables, de las cuales 8 identificaban características de las empresas, 36 se enfocan en determinar la capacidad dinámica de absorción y 11 estaban relacionadas con el éxito en la gerencia de proyectos. En las secciones que presentaban variables relacionadas con la capacidad dinámica de absorción y el éxito en gerencia de proyectos, se ofrecía al gerente de proyecto una afirmación que se debía calificar de 1 a 10, donde 1 representaba que no había cumplimiento de la organización y 10 un cumplimiento total de la organización con respecto al criterio.

Dicho instrumento fue validado a través de la prueba Alpha de Cronbach. El resultado fue de 0.919. Este valor induce que el instrumento se considera fiable (Instrumento Gold), dado que la homogeneidad de los ítems fue superior a 0,70 de acuerdo con el planeamiento de Edmonds & Kennedy (2017). De igual forma y como se discutió anteriormente, para la construcción de este instrumento se consideraron investigaciones y revisión teórica de diferentes autores, con lo que se alcanzó la validez requerida. Esta última se refiere al grado en el que un instrumento realmente mide la variable que pretende observar, minimiza riesgos y permite obtener información válida y oportuna respecto al tema de investigación.

Con los datos recolectados se procedió a identificar el grado de capacidad dinámica de absorción de cada una de las organizaciones. Para esto se empleó un análisis multivariado que combinó las técnicas de regresión lineal y clusterización, las cuales ofrecieron como resultado

un valor en escala de 1 a 10, que representaba el grado de absorción de la organización. Frente al éxito en proyectos se identificaron las variables que estaban directamente relacionadas con el cumplimiento de las restricciones de calidad en los proyectos. La regresión lineal simple es una de las técnicas estadísticas más utilizadas, ya que es un procedimiento que permite modelar una relación entre dos conjuntos de variables. El resultado es una ecuación que se puede utilizar para hacer proyecciones o estimaciones sobre los datos en un periodo de interés.

Por otro lado, la clusterización, o conocido de igual forma como Análisis de Conglomerados, es una técnica estadística multivariada que busca agrupar elementos (o variables) con el objetivo de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor heterogeneidad entre ellos, de manera que se obtienen grupos lo más diferenciables entre sí y permiten a su vez focalizar análisis al orientarlos sobre los diferentes grupos.

A partir de estos dos insumos y de las variables que presentaban las características de las organizaciones, se desarrollaron cuatro análisis. El primero fue un análisis descriptivo que permitió relacionar las variables de la investigación por medio de tablas de contingencia; el segundo se enfocó en la construcción de una ecuación que permite estimar la variable del cumplimiento de restricciones de calidad en gerencia de proyectos, a partir de la variable capacidad de absorción, para este fin se empleó la regresión lineal múltiple; en tercer lugar se realizó un análisis exploratorio descriptivo de los clúster de capacidad dinámica de absorción y se compararon con los clúster del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos; finalmente y en cuarto lugar, se calculó la correlación del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos con el cumplimiento de restricciones de eficiencia y eficacia.

4. RESULTADOS

Los resultados derivados del desarrollo de la presente investigación se presentarán en cuatro apartados. En el primero de ellos se muestra un ejercicio de clusterización de la capacidad de absorción frente a los resultados del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos; en segundo lugar, se refiere un análisis descriptivo de las variables que

permiten la caracterización de las organizaciones que fueron analizadas en la investigación; en tercer lugar se presentan los resultados relacionados con la capacidad dinámica de absorción en gerencia de proyectos como predictor del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos; y finalmente se presenta la estimación de la correlación del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos con el cumplimiento de restricciones de eficiencia y eficacia.

En concordancia con lo anterior, se empleó la técnica de clusterización para analizar los resultados obtenidos sobre el nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad de las organizaciones analizadas. Con este fin, se empleó la técnica de k-medias y se establecieron tres agrupaciones de acuerdo con las mediciones. En la Tabla 3 se presentan los estadísticos descriptivos más relevantes de cada uno de los clústeres.

Tabla 3. Clúster de los resultados del cumplimiento de restricciones de calidad en los proyectos.

Clúster	Estadístico		Valor	Desv. Error
Bajo	Media		7,33	0,575
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	6,10	
		Límite superior	8,57	
	Mediana		8,00	
	Varianza		4,952	
	Desv. Desviación		2,225	
	Mínimo		3	
	Máximo		10	
	Rango		7	
	Rango intercuartil		4	
	Asimetría		-0,665	0,580
Curtosis		-0,762	1,121	
Medio	Media		8,06	0,382
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	7,25	
		Límite superior	8,88	
	Mediana		8,00	
	Varianza		2,329	
Desv. Desviación		1,526		

Clúster	Estadístico		Valor	Desv. Error
	Mínimo		5	
	Máximo		10	
	Rango		5	
	Rango intercuartil		3	
	Asimetría		-0,248	0,564
	Curtosis		-0,604	1,091
Alto	Media		9,00	0,235
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	8,51	
		Límite superior	9,49	
	Mediana		9,00	
	Varianza		1,273	
	Desv. Desviación		1,128	
	Mínimo		7	
	Máximo		10	
	Rango		3	
	Rango intercuartil		2	
	Asimetría		-0,624	0,481
	Curtosis		-1,097	0,935

Fuente: elaboración propia.

A partir de los resultados de la Tabla 3, se establecieron las relaciones del cumplimiento de las restricciones de calidad en los proyectos y la capacidad dinámica de absorción en gerencia de proyectos. De igual forma, se elaboró un diagrama de cajas y bigotes para identificar los comportamientos de las variables. En la Figura 4 se puede observar que los niveles altos en el cumplimiento de restricciones de calidad están asociados a niveles altos de capacidad dinámica de absorción. Como muestra de esto, se presentan los valores de la mediana, que en este caso es de 9 en una escala de 1 a 10. En este mismo sentido se observa mayor dispersión de los datos en el nivel bajo de capacidad de absorción. Esto indica que empresas con bajos niveles de absorción presentan un gran espectro de valores en cuanto a cumplimiento de restricciones de calidad, lo que induce que son empresas heterogéneas en este sentido.

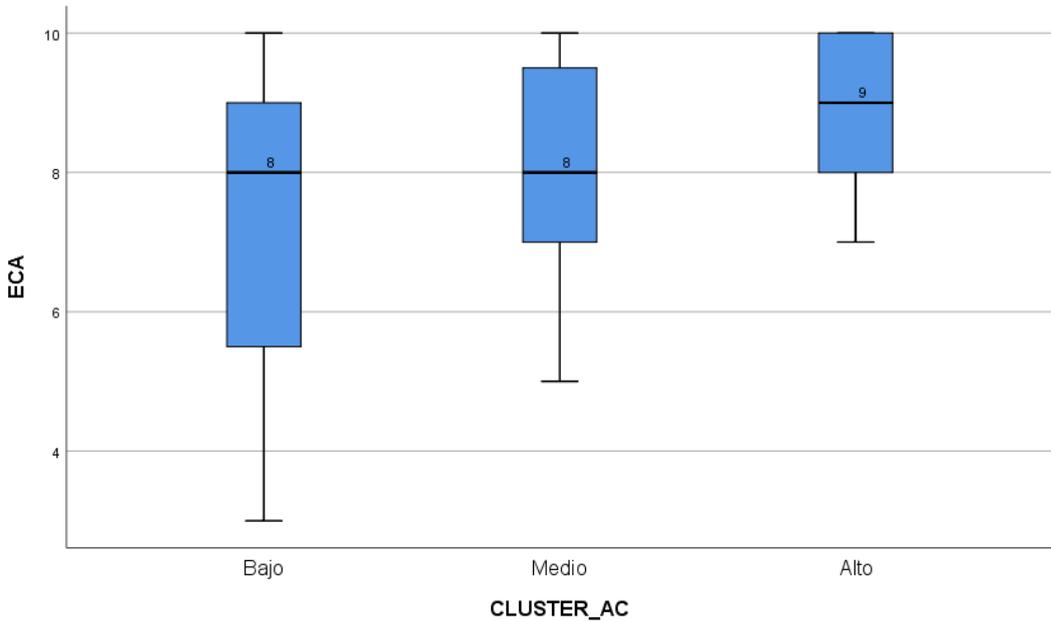


Fig. 4. Cumplimiento de restricciones de calidad en proyectos por tamaño de los equipos de proyectos
Fuente: elaboración propia.

Con base en lo anterior, se realizó un análisis descriptivo de las variables que permiten la caracterización de las organizaciones que fueron analizadas en la investigación. En primera instancia se presentan los tamaños regulares de los equipos de proyecto en las organizaciones analizadas, enfrentadas con el clúster que refleja el nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad en los proyectos. En este aspecto se destaca que las organizaciones que presentan equipos de proyecto con más de 20 personas manifiestan un cumplimiento alto en comparación a otros tamaños de equipos, también se observa que el cumplimiento medio de las restricciones de calidad es predominante en todos los tamaños de equipos de proyectos (Ver Figura 5).

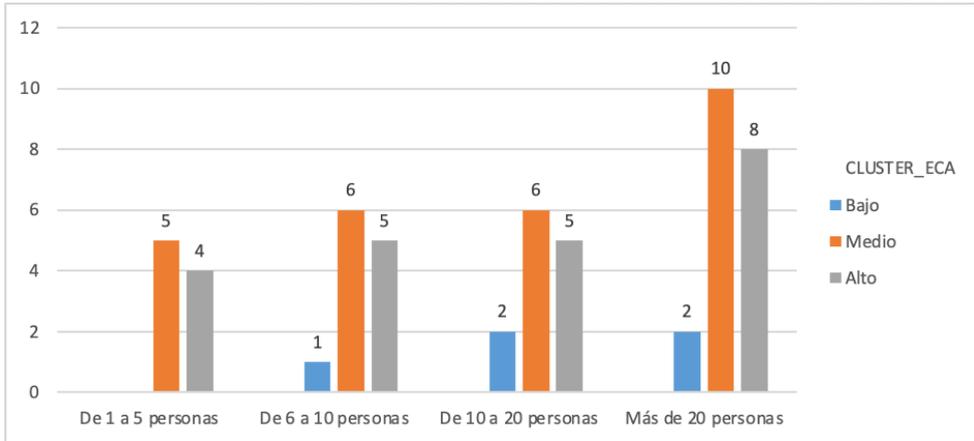


Fig. 5. Cumplimiento de restricciones de calidad en proyectos por tamaño de los equipos de proyectos.

Fuente: elaboración propia.

En este mismo sentido, se analizó el clúster de cumplimiento de las restricciones de calidad asociados al tipo principal de proyectos que manifestaron desarrollar las organizaciones analizadas. En este caso, se logró identificar que los proyectos que se formulan para el desarrollo de productos y servicios tienen mayor grado de cumplimiento de las restricciones de calidad, mientras que los proyectos que se establecen con fines de investigación y desarrollo tienen una mayor presencia en el nivel bajo del cumplimiento de las restricciones de calidad (Ver Figura 6). Este comportamiento es evidenciable de manera clara, puesto que el desarrollo de un nuevo producto es el proceso en diferentes áreas mediante el cual una institución se traza participar en un determinado mercado, a través de la inserción en dicho mercado de un bien o servicio novedoso e innovador, o con una variación y/o actualización de uno anterior y en el que la capacidad de absorción es evidente y necesaria.

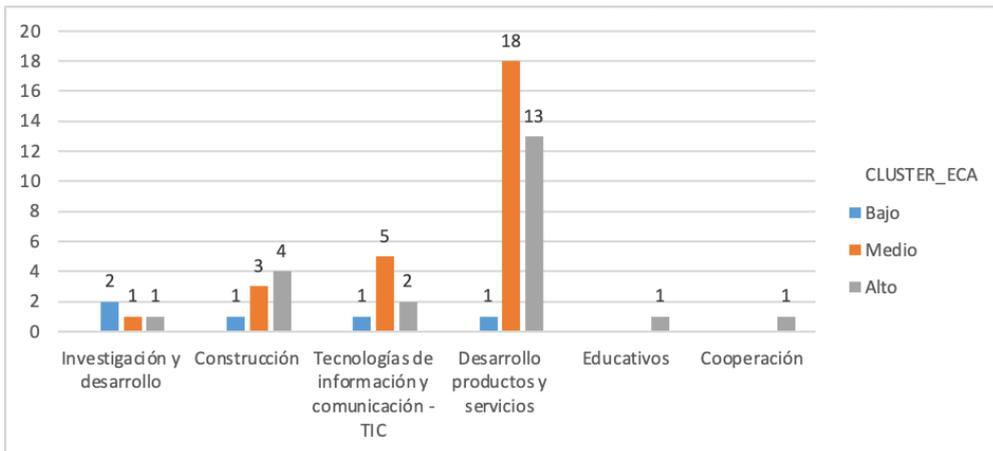


Fig. 6. Cumplimiento de restricciones de calidad en proyectos por tipos de proyectos.

Fuente: elaboración propia.

Otro de los resultados del análisis del cumplimiento de las restricciones de calidad en los proyectos fue posible gracias al contraste con los tipos de mecanismos para el seguimiento y control de proyectos. En la Figura 7 se puede observar que la mayoría de las organizaciones que expresaron un cumplimiento alto en las restricciones de calidad manifestaron el uso de metodologías de gerencia de proyectos, indicadores clave de desempeño y reportes de avance como los mecanismos que emplean. También se pudo identificar que el 18,52% de las organizaciones estudiadas manifiestan un cumplimiento medio de las restricciones de calidad y revelaron emplear reportes de avance como mecanismo de seguimiento y control de proyectos. Estas organizaciones son las más representativas en el nivel de cumplimiento medio.

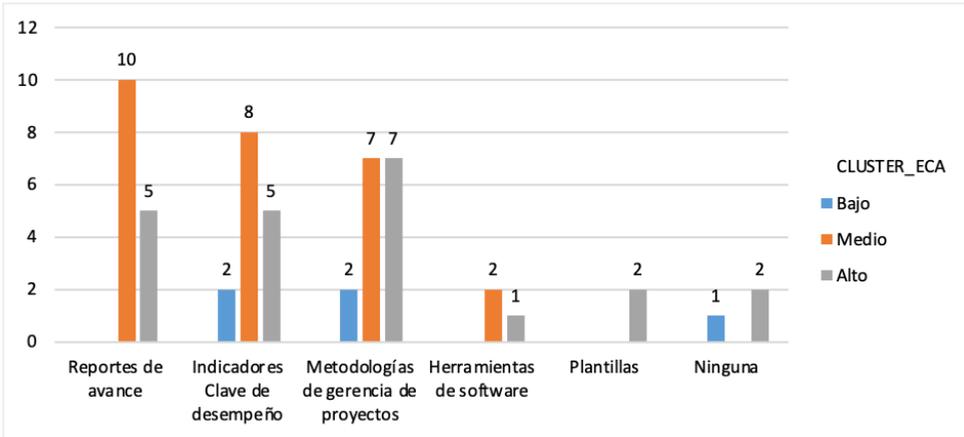


Fig. 7. Cumplimiento de restricciones de calidad en proyectos por mecanismo de seguimiento y control de proyectos empleados.

Fuente: elaboración propia.

Frente a los niveles de cumplimiento de las restricciones de calidad en contraste con el tiempo de operación de la organización en el mercado, fue posible identificar que mayor tiempo de trayectoria organizacional permite que las organizaciones se sitúen en niveles medio y alto de cumplimiento de restricciones de calidad. Asimismo, la menor cantidad de empresas con desempeño alto se emplazan en empresas con un tiempo de operación menor a 5 años. En la Figura 8 se presentan los resultados.

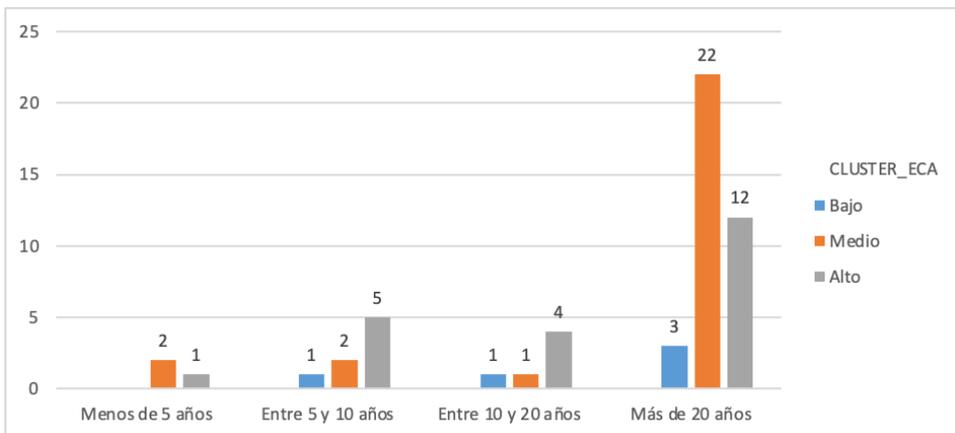


Fig. 8. Cumplimiento de restricciones de calidad en proyectos por tiempo de operación de la organización en el mercado.

Fuente: elaboración propia.

Una vez analizado el comportamiento del cumplimiento de las restricciones de calidad frente a las características de las organizaciones analizadas, se continuó con un análisis de las dimensiones de la capacidad de absorción y su relación con el nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad. En la Figura 9 se presenta la dimensión de adquisición, para la cual se establecieron dos clústeres, uno que agrupa las organizaciones con bajos niveles en la dimensión de adquisición y se identifica con el número 0; y otro que tiene las organizaciones con niveles altos en la dimensión de adquisición que se identifica con el número 1. Derivado de lo anterior se puede identificar que las organizaciones que presentan niveles medio y alto en el cumplimiento de sus restricciones de calidad son las que tienen niveles más importantes en la dimensión de adquisición de la capacidad dinámica de absorción.

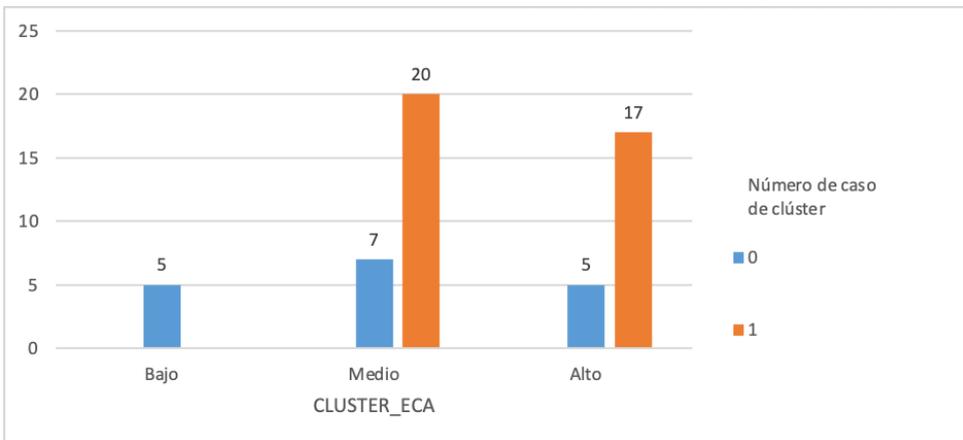


Fig. 9. Cumplimiento de restricciones de calidad en la dimensión de adquisición.

Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se analizó la dimensión de asimilación, en la que el comportamiento es similar a los resultados de adquisición debido a que presentan un alto número de organizaciones con niveles altos en la dimensión de asimilación que coinciden con los niveles altos en el cumplimiento de restricciones de calidad (ver Figura 10). Es de resaltar que, tanto en la dimensión de adquisición como en la asimilación, las organizaciones que se catalogan en un cumplimiento de restricciones de calidad nivel medio son las que tienen comportamientos más destacados en dichas dimensiones.

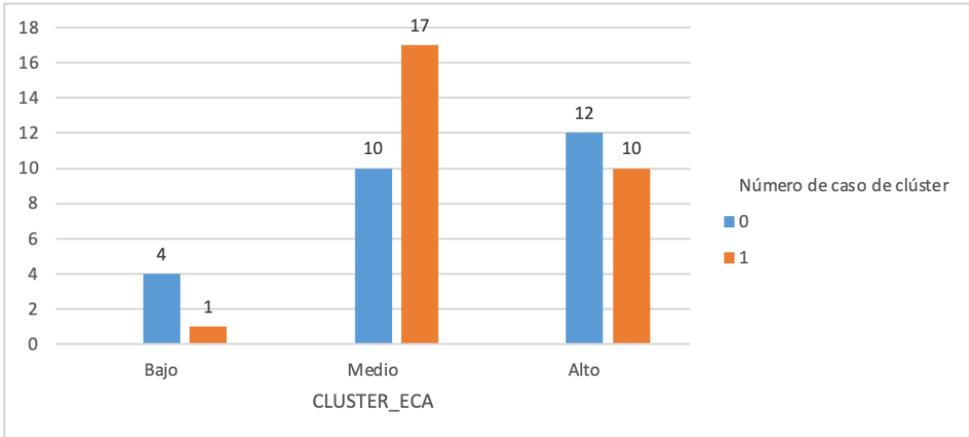


Fig. 10. Cumplimiento de restricciones de calidad en la dimensión de asimilación.
Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la dimensión de transformación presenta una similitud muy importante con los resultados obtenidos en la dimensión de adquisición y persiste la concentración de mayores niveles en la transformación asociados al nivel medio de cumplimiento de restricciones de calidad (Ver Figura 11).

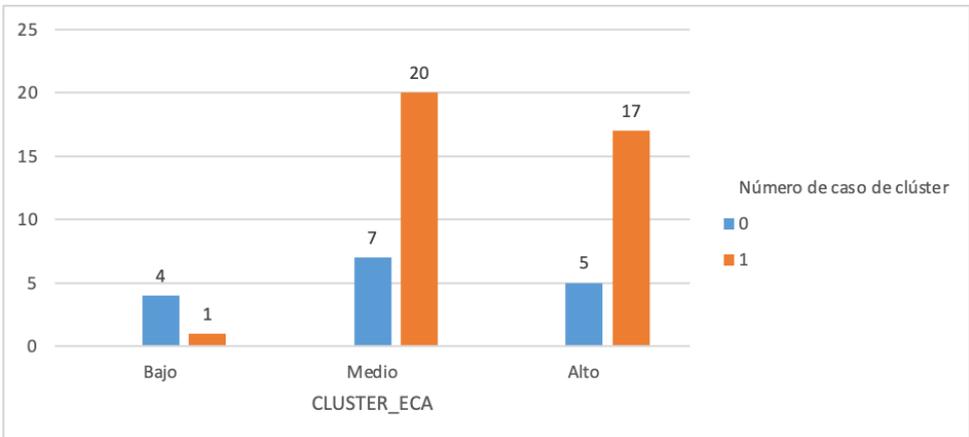


Fig. 11. Cumplimiento de restricciones de calidad en la dimensión de transformar.
Fuente: elaboración propia.

Como cuarta y última dimensión de la capacidad dinámica de absorción se analizó la explotación, la cual presenta comportamientos consistentes con las otras dimensiones y muestra una tendencia similar en la concentración de la capacidad de absorción frente al cumplimiento de las restricciones de calidad (Ver Figura 12).

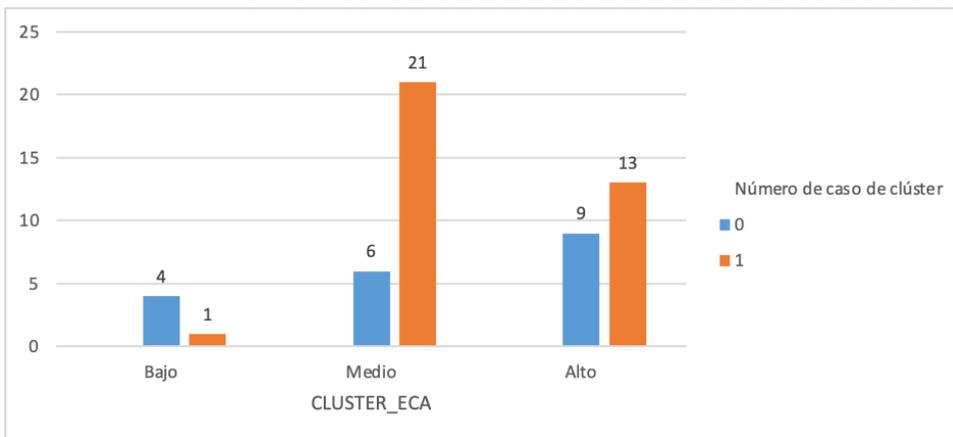


Fig. 12. Cumplimiento de restricciones de calidad en la dimensión de explotar.

Fuente: elaboración propia.

Para complementar el análisis de las restricciones de calidad frente a los componentes de la capacidad de absorción se presentan los subconjuntos, la capacidad potencial y la capacidad realizada. En primera instancia se presenta un gráfico que muestra el número de organizaciones con niveles altos y bajos en los dos subconjuntos (Ver Figura 13); posteriormente en la Figura 14 se presenta la distribución del subconjunto de la capacidad de absorción potencial frente a los niveles de cumplimiento de las restricciones de calidad.

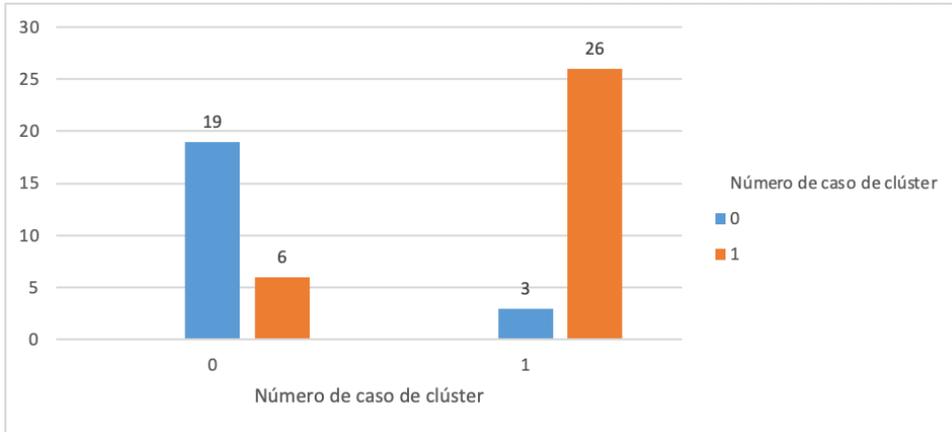


Fig. 13. Correspondencia de los niveles en los subconjuntos de la capacidad de absorción.
Fuente: elaboración propia.



Fig. 14. Cumplimiento de restricciones de calidad en el subconjunto de capacidad de absorción potencial.
Fuente: elaboración propia.

Como complemento se presenta la distribución del subconjunto de la capacidad de absorción realizada frente a los niveles de cumplimiento de las restricciones de calidad (Ver Figura 15). En esta se puede observar consistencia con el subconjunto de capacidad potencial. Las organizaciones con mejores desempeños en el cumplimiento de sus restricciones de calidad se encuentran en el clúster con mejores niveles en el subconjunto.

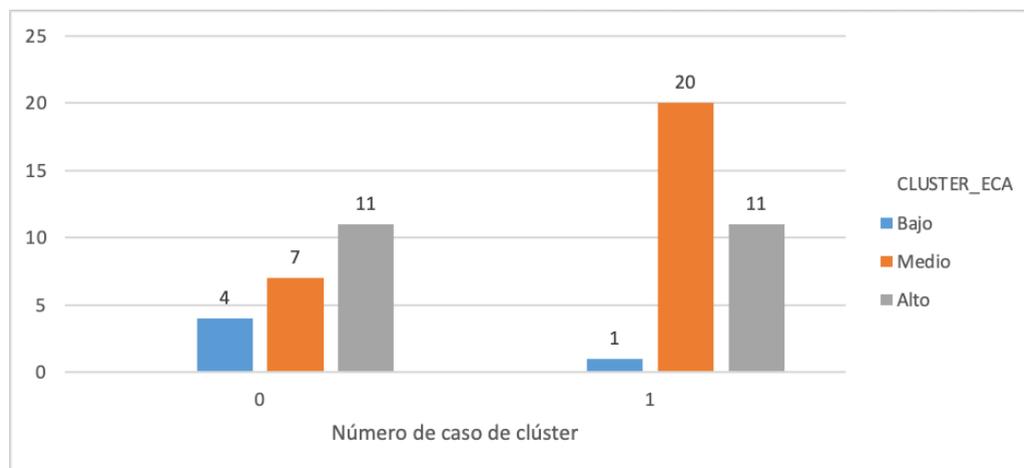


Fig. 15. Cumplimiento de restricciones de calidad en el subconjunto de capacidad de absorción realizada.

Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, se presentan los resultados relacionados con la capacidad dinámica de absorción en gerencia de proyectos como predictor del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos. En lo que respecta a este tema, se logró establecer la ecuación que permite determinar el grado de cumplimiento de las restricciones de calidad a partir de la capacidad de absorción, la cual se presenta en (1):

$$ECA = 0,371AC + 5,719 \quad (1)$$

Donde:

ECA = Nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad.

AC = Grado de capacidad dinámica de absorción de la organización.

En la Tabla 4 se presentan los niveles de significancia para cada uno de los parámetros de la anterior ecuación ($y = \beta_0 + \beta_1$) para el caso, tanto β_0 (Constante), como β_1 (Pendiente que acompaña a la variable independiente AC) resultaron significativos al encontrarse por debajo del nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). De esta forma, se consideran estadísticamente representativos para los coeficientes de la ecuación (1) y pueden ser utilizados como modelo de referencia para dicha relación.

Tabla 4. Definiciones de dimensiones de la capacidad de absorción.

Coeficientes no estandarizados		Coeficientes estandarizados		t	Sig.
B	Desv. Error	Beta			
(Constante)	5,719	0,867		6,597	0,000
AC	0,371	0,123	0,387	3,028	0,004

Fuente: elaboración propia.

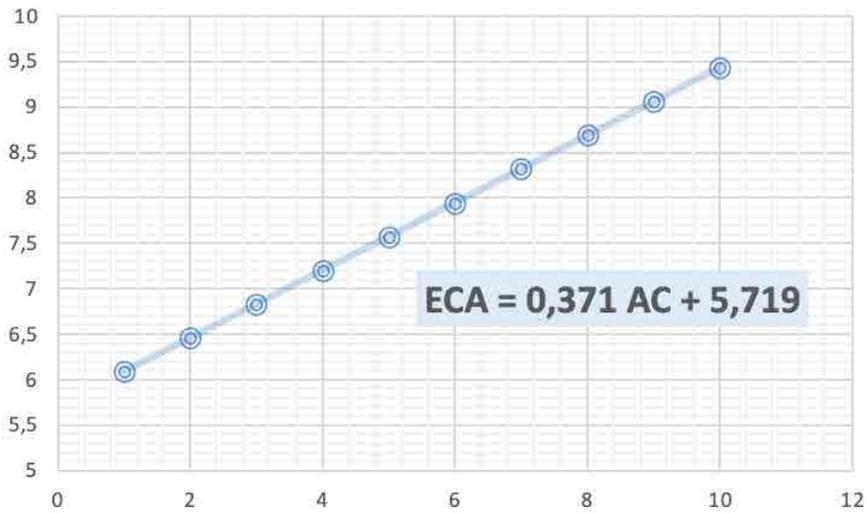


Fig. 16. Modelo de comportamiento del nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad con respecto al grado de capacidad dinámica de absorción de la organización.

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con el modelo estimado, por cada incremento en el grado de capacidad dinámica de absorción de la organización (AC), se aumenta el nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad en 0,371 (ECA), es decir, un aumento porcentual del 37,1% según el grado de absorción de la organización.

En otras palabras, el grado de capacidad dinámica de absorción de la organización (AC) influye directamente en el nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad, con lo que es fácil concluir que cualquier incremento en dicha capacidad se manifiesta automáticamente en la calidad.

Finalmente, se presenta la estimación de la correlación del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos con el cumplimiento de restricciones de eficiencia y eficacia. En la Tabla 5 se pueden identificar relaciones moderadas del cumplimiento de las restricciones de calidad en los proyectos con la eficiencia y la eficacia, las cuales corresponden a 0,587 y 0,578, respectivamente. También es de resaltar que la relación que se registró entre eficiencia y eficacia es fuerte, de acuerdo con el resultado de 0,894. De la misma manera, se puede concluir que todas estas correlaciones se consideran significativas al encontrarse por debajo del nivel de significancia establecido ($\alpha = 0,05$). Lo que indica una relación positiva entre las variables analizadas. Como es sabido, una correlación significativa positiva sucede cuando dos variables se mueven en la misma dirección o, en otras palabras, tienen un comportamiento que influye directamente una a la otra.

De acuerdo con la información anteriormente expuesta, se puede afirmar que cualquier discrepancia en las variables eficiencia, eficacia y cumplimiento de restricciones de calidad, se refleja en las otras, dada su correlación significativa.

Tabla 5. Correlaciones eficiencia, eficacia y cumplimiento de restricciones de calidad.

Ítem		ECA	EEFCI	EEFCA
ECA	Correlación de Pearson	1	,587**	,578**
	Sig. (bilateral)		0,000	0,000
	N	54	54	54
EEFCI	Correlación de Pearson	,587**	1	,894**
	Sig. (bilateral)	0,000		0,000
	N	54	54	54
EEFCA	Correlación de Pearson	,578**	,894**	1
	Sig. (bilateral)	0,000	0,000	
	N	54	54	54

Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIONES

Los resultados presentados en el apartado anterior permiten identificar aspectos que merecen ser discutidos. En lo que respecta a las relaciones del cumplimiento de las restricciones de calidad con distintas características de las organizaciones, se pudo identificar que el tamaño del proyecto no es un factor que influya determinadamente en el cumplimiento de las restricciones de calidad. En la Figura 5 se puede identificar que en todas las categorías que hacen referencia al tamaño de los proyectos se manifiesta una mayor presencia de organizaciones en niveles medio y alto de cumplimiento de restricciones de calidad. Lo anterior puede obedecer a que a nivel organizacional el gerente del proyecto o algún miembro del equipo tiene asignadas claramente las actividades relacionadas con la identificación y cumplimiento de las restricciones de calidad, esto permite que sean tenidas en cuenta y que la organización perciba un grado de cumplimiento adecuado en este aspecto.

El análisis de las características de la organización frente a las restricciones de calidad también permitió establecer que las organizaciones que ejecutan proyectos relacionados con investigación y desarrollo manifiestan un cumplimiento menor en sus restricciones de calidad. Esto puede estar relacionado a que en este tipo de proyectos se tiene un alto nivel de incertidumbre sobre los resultados. Por lo que establecer parámetros que permitan determinar el grado de calidad del proyecto se constituye en un desafío. En contraste, organizaciones que ejecutan proyectos tendientes al desarrollo de productos y servicios manifiestan mayores proporciones en los niveles medio y alto de cumplimiento. En este caso, dado que este tipo de proyectos tienen una mayor definición de las expectativas de los clientes y usuarios a los que está dirigido el producto o servicio, los niveles de incertidumbre son menores y permiten establecer más claramente los criterios para la evaluación del cumplimiento de las restricciones de calidad.

Otro aspecto importante fue identificado en el análisis de los mecanismos de seguimiento y control de proyectos, al respecto se logró evidenciar que los reportes de avance y las metodologías de gerencia de proyectos presentan un mayor número de organizaciones en niveles

medio y alto de cumplimiento de restricciones de calidad. Este aspecto podría estar ligado a que dichos mecanismos, generalmente, consideran los factores clave de éxito para la gerencia de proyectos y sin duda un ítem determinante en estos factores en el cumplimiento de las restricciones de calidad. En cuanto al último análisis de las características de las organizaciones, en contraste con el nivel de cumplimiento de las restricciones de calidad, se encuentra la relación con presencia en el mercado de las organizaciones. Aquí se puede identificar qué organizaciones con presencia superior a los 20 años revelaron mayores niveles de cumplimiento de las restricciones de calidad. Este aspecto puede obedecer a que la experiencia de las organizaciones permite refinar las prácticas y fortalecer sus capacidades de cara a un mejoramiento continuo de la gerencia de proyectos.

Por otra parte, en lo que respecta a la regresión lineal realizada para establecer la ecuación para estimar el grado de cumplimiento de las restricciones de calidad en proyectos a partir de la capacidad dinámica de absorción, se logró establecer que la capacidad dinámica es un predictor que se ajusta de forma adecuada en la estimación. Lo expuesto anteriormente se soporta en la significancia registrada en la investigación y muestra que la habilidad de una empresa sirve para reconocer el valor de información nueva y externa, asimilarla y aplicarla a fines comerciales (Cohen & Levinthal, 1990). Asimismo, guarda relación con el cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos al indicar que la adecuada gestión de la información proveniente del entorno de la organización contribuye positivamente a los aspectos relacionados con la calidad del proyecto.

Finalmente, las correlaciones del cumplimiento de las restricciones de calidad de los proyectos con la eficiencia y la eficacia en un nivel moderado sugieren que las prácticas para el cumplimiento de los requisitos de calidad aportan positivamente al uso adecuado de los recursos (eficiencia) y al cumplimiento de las metas de la organización (eficacia). De la misma forma la correlación fuerte entre eficiencia y eficacia muestra un comportamiento interrelacionado de estas variables en las organizaciones objeto de esta investigación.

6. CONCLUSIONES

La presente investigación permitió establecer relaciones importantes entre características de la organización y su influencia en el cumplimiento de las restricciones de calidad. Una de las más representativas es el hecho que el tiempo de operación y el uso de mecanismos formales para el seguimiento y control de proyectos en la organización permite el mejoramiento de sus niveles de cumplimiento de las restricciones de calidad. En menor medida, contar con equipos de proyectos numerosos aporta positivamente a dicho cumplimiento. En este mismo sentido, la investigación sugiere la influencia de la incertidumbre asociada al tipo de proyecto con niveles bajos de cumplimiento de las restricciones de calidad.

Desde otra perspectiva, la capacidad dinámica de absorción resultó ser un predictor adecuado para el cumplimiento de las restricciones de calidad. Permitted identificar que las habilidades de las organizaciones para monitorear su entorno y emplear efectivamente la información relevante para su operación tiene influencia directa en que se logren los objetivos establecidos en términos de calidad para los proyectos que allí se desarrollan.

Finalmente, los resultados sugieren que los niveles de eficiencia y eficacia en los proyectos tienen influencia directa en el cumplimiento de los niveles de cumplimiento de las restricciones de calidad. Esto se debe a que tanto eficiencia como eficacia son incluidas en las prioridades de la gestión de las organizaciones por su impacto en los resultados organizacionales y en este mismo sentido se logró comprobar su influencia en la gerencia de proyectos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albort-Morant, G., Leal-Rodríguez, A. L., Fernández-Rodríguez, V., & Ariza-Montes, A. (2018). Assessing the origins, evolution and prospects of the literature on dynamic capabilities: A bibliometric analysis. *European Research on Management and*

Business Economics, 24(1), 42-52. doi:<https://doi.org/10.1016/j.iedeen.2017.06.004>

- Aubry, M., Hobbs, B., & Thuillier, D. (2007). A new framework for understanding organisational project management through the PMO. *International Journal of Project Management*, 25(4), 328-336. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2007.01.004>
- Birollo, G., & Fajardo-Moreno, W. S. (2020). Project-Based Organizations: Project Manager Challenges at the Interface With the Customer. In *Handbook of Research on Project Management Strategies and Tools for Organizational Success* (pp. 247-268): IGI Global.
- Chang, Y.-F., & Ishii, H. (2013). Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Approach to Assess the Project Quality Management in Project. *Procedia Computer Science*, 22, 928-936. doi:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2013.09.176>
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1989). Innovation and Learning: The Two Faces of R & D. *The Economic Journal*, 99(397), 569-596. doi:10.2307/2233763
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35(1), 128-152. doi:10.2307/2393553
- Dyer, J. H., & Singh, H. (1998). The Relational View: Cooperative Strategy and Sources of Interorganizational Competitive Advantage. *The Academy of Management Review*, 23(4), 660-679. doi:10.2307/259056
- Edmonds, W. A., & Kennedy, T. D. (2017). *An Applied Reference Guide to Research Designs: Quantitative, Qualitative, and Mixed Methods: Quantitative, Qualitative, and Mixed Methods*: SAGE Publications.
- Eisenhardt, K. M., & Martin, J. A. (2000). Dynamic Capabilities: What Are They? *Strategic Management Journal*, 21(10/11), 1105-1121.
- Flatten, T. C., Engelen, A., Zahra, S. A., & Brettel, M. (2011). A measure of absorptive capacity: Scale development and validation. *European Management Journal*, 29(2), 98-116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.emj.2010.11.002>
- Flatten, T. C., Greve, G. I., & Brettel, M. (2011). Absorptive Capacity and Firm Performance in SMEs: The Mediating Influence of Strategic Alliances. *European Management Review*, 8(3), 137-152. doi:10.1111/j.1740-4762.2011.01015.x

- Furman, J. (2011). Project Management Answer Book. In: Management Concepts, Inc.
- Griffith, D. A., & Harvey, M. G. (2001). A Resource Perspective of Global Dynamic Capabilities. *Journal of International Business Studies*, 32(3), 597-606. doi:10.1057/palgrave.jibs.8490987
- Hamel, G. (2001). Leading the revolution. *Strategy & Leadership*.
- Havranek, T. J. (1998). *Modern project management techniques for the environmental remediation industry*: CRC Press.
- Helfat, C. E., & Martin, J. A. (2015). Dynamic managerial capabilities: Review and assessment of managerial impact on strategic change. *Journal of management*, 41(5), 1281-1312.
- Hyväri, I. (2016). Roles of Top Management and Organizational Project Management in the Effective Company Strategy Implementation. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 226, 108-115. doi:https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.06.168
- Ingason, H. T. (2015). Best project management practices in the implementation of an ISO 9001 quality management system. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 194(3), 192-200.
- Juran, J., & Godfrey, A. B. (1999). Quality handbook. *Republished McGraw-Hill*, 173(8).
- Kerzner, H. (2003). Strategic planning for a project office. *Project Management Journal*, 34(2), 13-25.
- Kerzner, H. (2017). *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*: John Wiley & Sons.
- Knutzen, J., & Blitz, I. (1991). Project management: how to plan and manage successful projects. In: New York, NY: American Management Association.
- Lane, P. J., Koka, B. R., & Pathak, S. (2006). The Reification of Absorptive Capacity: A Critical Review and Rejuvenation of the Construct. *The Academy of Management Review*, 31(4), 833-863. doi:10.2307/20159255
- Lane, P. J., & Lubatkin, M. (1998). Relative absorptive capacity and interorganizational learning. *Strategic management journal*, 19(5), 461-477.
- Organización Internacional de Normalización, I. (2015). 9000: 2015, Sistemas de gestión de calidad. *Fundamentos y vocabulario. (ISO 9000: 2015)*, Ginebra: ISO.

- Pinto, J. K. (2016). *Project management: achieving competitive advantage*. Boston: Pearson.
- PMI, P. M. I. (2018). *Pulse of the Profession*. Retrieved from Project Management Institute, I. (2017). Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) (6th Edition). In: Project Management Institute, Inc. (PMI).
- Rose, K. (2005). *Project quality management: why, what and how*: J. Ross Pub.
- Teece, D., & Pisano, G. (1994). The Dynamic Capabilities of Firms: an Introduction. *Industrial and Corporate Change*, 3(3), 537-556. doi:10.1093/icc/3.3.537-a
- Wernerfelt, B. (1984). A Resource-Based View of the Firm. *Strategic Management Journal*, 5(2), 171-180.
- Zahra, S. A., & George, G. (2002). Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension. *The Academy of Management Review*, 27(2), 185-203. doi:10.2307/4134351
- Zahra, S. A., Sapienza, H. J., & Davidsson, P. (2006). Entrepreneurship and dynamic capabilities: A review, model and research agenda. *Journal of Management studies*, 43(4), 917-955.

EVALUACIÓN DE LA GESTIÓN DE CALIDAD EN EDIFICACIONES DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE TUNJA MEDIANTE SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

Tolozza Gordillo, Luis Miguel¹; Hernández Carrillo, Carlos Gabriel²; Sarmiento-Rojas Jorge Andrés³; Güiza Pinzón Fabián⁴
.....

1. INTRODUCCIÓN

La ciudad de Tunja, apostada en la cordillera de los Andes y corazón del altiplano cundiboyacense, es la capital del departamento de Boyacá y alberga un centro histórico enriquecido por un amplio patrimonio cultural y arquitectónico. Este espectro de infraestructura histórica y conjuntos monumentales plasman y representan grandes acontecimientos de la historia colombiana, junto con la herencia acumulada de una comunidad activa y dinámica que se constituye en la mayor concentración de actividad demográfica y comercial, fruto de su formación como centro urbano desde épocas prehispánicas, capital del cacicazgo de los Zaques y posterior fundación en ciudad del imperio y corona española el 6 de agosto de 1539. En su legado se recoge la esencia del espíritu mestizo y la cultura hispanoamericana (Banco de la República de Colombia, 1997; Santamaría Delgado, 2017).

Por su importancia histórica y patrimonial deben aunarse esfuerzos para su preservación, defensa, vigilancia, incorporación y transmisión de los valores heredados por un núcleo cultural vivo y comunidades socialmente organizadas que garanticen el legado patrimonial histórico

1 Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. luis.tolozza@uptc.edu.co

2 Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. carlosgabriel.hernandez@uptc.edu.co

3 Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. jorge.sarmiento02@uptc.edu.co

4 Facultad de Ingeniería, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. fabian.guiza@uptc.edu.co

en la remembranza de las hazañas pasadas y entendimiento de la diarias costumbres que hacen de este desarrollo, lugares únicos y valiosos, mediante la salvaguarda de su protección y conservación en sus diversas manifestaciones, tendiente a desaparecer, producto de las nuevas actividades socioeconómicas presentes en la actualidad.

Se deben orientar políticas de recuperación urbana, mediante la gestión de calidad en la inspección del patrimonio arquitectónico del centro Histórico de Tunja, ya que la supervisión de productos y procesos es una característica innata del control de calidad (Ding, Li, Zhou, & Love, 2017). Estos procesos permiten rectificar y proteger aspectos urbanísticos que atienden y fomentan el comercio, la competitividad y la inclusión de la identidad ciudadana (Ministerio de Cultura, 2012). Lo anterior contrasta con el dinámico movimiento económico en esta zona de la ciudad, la cual se ha constituido por la amplia oferta de bienes y servicios y centralización del aparato estatal (Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE, 2015).

A pesar de esto, no existe una evaluación en la gestión de calidad que permita vislumbrar y adaptar las condiciones patrimoniales e históricas con los fenómenos de globalización e inclusión de renovación urbana, que ha generado cambios espaciales, caracterizada por las dimensiones multifacéticas del entorno, su ajuste a la variedad, tipología de nuevas y tradicionales formas de asociación civil. Las cuales han repercutido en la urbanización y/o reestructuración de las urbes (Furlan, 2017; Joo & Park, 2017).

La gran evolución que ha experimentado la gestión de la calidad (QM) en los últimos años ha expuesto diversas opciones para implementar prácticas que esta filosofía propone junto con la reducción de dificultades en la aplicación de cada iniciativa, al identificar y analizar los factores involucrados (Gutiérrez, Torres, & Molina, 2010). Los problemas asociados a esta iniciativa varían en función de la importancia de los elementos y del esfuerzo en su implementación y posterior implantación. Esto al evaluar las diversas y cambiantes formas de distribución en el uso del espacio físico y patrimonio para satisfacer la importancia creciente en las sociedades modernas (Carbone, Oosterbeek, Costa, & Ferreira, 2020).

Dicha importancia refleja y sustenta la presente investigación y similares, integradas a la gestión del patrimonio cultural en el contexto de las actividades culturales y turísticas que han establecido la asociación entre las actividades socioeconómicas y la gestión del patrimonio cultural. Por lo tanto, las organizaciones públicas y privadas deben integrar y adaptarse a los retos que demanda el entorno cambiante (Velázquez & Vargas, 2012).

Estas cambiantes condiciones son mitigadas en incertidumbres y futuros riesgos mediante la gestión de calidad como “*criterio de calificación*”; que define y sostiene características relevantes para la conservación del patrimonio arquitectónico como bienes que representan la memoria histórica, junto con una función socioeconómica y política activa (Caputo & Pasetti, 2017). Así, en el centro histórico de Tunja se debe fomentar la cultura de la calidad en la gestión del patrimonio, entendida como una tendencia a la mejora continua y una atención constante a las necesidades de los usuarios de los lugares de interés patrimonial (Carbone et al., 2020).

Lo anterior integra aspectos en la flexibilidad y capacidad de respuesta y se constituye como modelo para obtener un mayor rendimiento (Prajogo & Sohal, 2003). Sin embargo, los tradicionales usos de suelo destinados al comercio y oferta de servicios son resilientes al cambio con el incremento de la complejidad en los procesos de evaluación y sostenibilidad del patrimonio a largo plazo, ya que las actuales condiciones en la economía de mercado se acentúan y generan retos en la calidad, gracias al enfoque competitivo y otras conductas que acentúan el deterioro y falla en la identificación oportuna del estado actual del patrimonio. Estos problemas han generado incoherencias en políticas relacionadas con el equipamiento urbano del centro histórico (Sánchez Sánchez & Pérez Tovar, 2019).

En este orden de ideas, la presente investigación analizó características relacionadas con fenómenos de vulnerabilidad en las edificaciones que integran el centro histórico de Tunja, mediante sistemas de información geográfica e integración de indicadores cualitativos de calidad previamente validados, desde su recopilación, adquisición, compilación, derivación del estado y vulnerabilidad del patrimonio que

integra el centro histórico de Tunja (Senaratne, Mobasheri, Ali, Capineri, & Haklay, 2017).

Los datos resultantes se concatenan a través del uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), para su análisis, interpretación y presentación de los hechos relativos al estado del patrimonio a través de herramientas de cómputo, diseñadas específicamente para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos, procedimientos y técnicas para manipular e integrar esta información con datos espaciales (Campbell & Michael, 2012), junto con la formulación de una metodología que permita generar una fiabilidad, credibilidad y calidad del contenido que favorezca su repercusión en decisiones tendientes a la conservación sostenible del patrimonio.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 La ciudad de Tunja en un contexto geográfico

La ciudad de Tunja, enclavada en la cordillera de los Andes y corazón del altiplano cundiboyacense, es la capital del departamento de Boyacá. Tuvo su fundación hispánica el 6 de agosto de 1539 por el Capitán Gonzalo Suárez Rendón, sobre territorio Chibcha, en el Valle del Alto Chicamocha, ubicado sobre la cordillera Oriental, localizada a 5°32'7" de latitud norte y 37° 22'04" de longitud oeste, como se muestra en la Fig. 1.

Las altitudes en el departamento se encuentran entre el rango de 2.700 hasta 3.150 metros sobre el nivel del mar, con una superficie total de 11.962,72 Ha o 121,4 km², equivalentes al 0,5% del área del departamento. La densidad poblacional es de 1.596,44 personas por km² y una temperatura promedio de 13°C. Se limita por el norte con los municipios de Motavita y Cómbita, al oriente con los municipios de Oicatá, Chivatá, Soracá y Boyacá, por el sur con Ventaquemada y por el occidente con Samacá, Cucaita y Sora (Concejo Municipal de Tunja, 2016; Secretaría de Protección Social, 2013). Según el Departamento Nacional de Planeación (DNP) (2016) Tunja está ubicado en la Región Centro Oriente y Subregión Centro con un entorno de desarrollo intermedio.

Junto con Bogotá, Distrito Capital de la República de Colombia, comparten un inicio colonizador similar y un trasegar histórico confluído de eventos trascendentales en los procesos de independencia del imperio español y la creación de Colombia como República. Producto del protagónico papel de la causa federal, Tunja como capital de las provincias Unidas de la Nueva Granada fue fundamental en la lucha independentista que convirtió sus tierras fértiles en campos de célebres y decisivas batallas. El impulso de la ciudad permitió iniciar la emancipación española y culminar con la independencia de toda América del sur (Banco de la República de Colombia, 1997).

Por estas razones, Santamaría Delgado (2015), expresa que Tunja comprende aspectos geográficos, económicos, sociales y culturales. Además, el patrimonio físico vigente atestigua los múltiples eventos que enriquecen el centro histórico de la ciudad y plasman en la actualidad, grandes hechos que trascendieron y constituyen un amplio apartado de la historia colombiana. Este patrimonio representa la herencia acumulada de una comunidad y un capital físico e inmaterial. Por lo que estos sitios tienen una connotación de preservación, defensa, vigilancia, incorporación y transmisión de este valor adquirido por un núcleo cultural vivo y comunidades socialmente organizadas (Ministerio de Cultura, 2011).

Estas y otras consideraciones han permitido en el centro histórico de Tunja, su identificación, selección y conservación, mediante su delimitación geográfica, establecida en el “Plan Especial de Manejo y Protección del Centro Histórico de la Ciudad de Tunja (Ministerio de Cultura, 2012). El cual se centra en la noción y conciencia del monumento aislado. Basado en el alto valor patrimonial en determinadas edificaciones emblemáticas que aducen a hechos históricos destacados y se formulan como hitos dentro del paisaje urbano, según lo establecido en la Carta de Atenas de 1931.

Estas políticas plantean el deber de garantizar la continuidad de su existencia, protección y conservación de las diversas manifestaciones del patrimonio, tendiente a desaparecer, producto de los cambios impulsados por la globalización. De modo que se han planteado acciones de restauración que no perjudiquen los estilos arquitectónicos y patrimoniales existentes sin el impedimento de las interacciones socioeconómicas

presentes y la fisonomía del centro histórico conservada (Gómez Consuegra, 2015; Rodríguez, 2008).

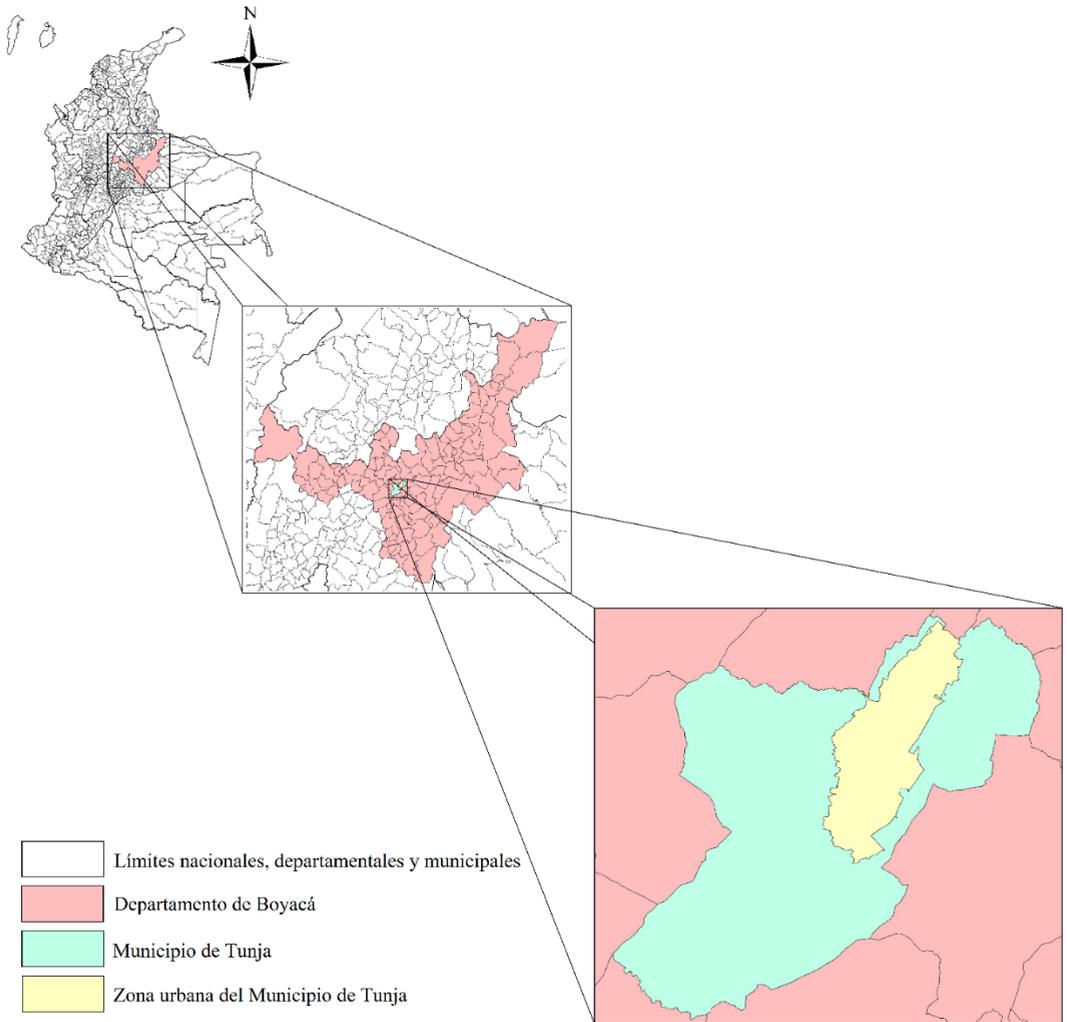


Fig. 1. Ubicación geográfica y diferenciación de la ciudad de Tunja.

Fuente: elaboración propia.

La Fig. 1 desglosa la zona rural y cabecera municipal o zona urbana de Tunja. En esta última se encuentra el centro histórico de Tunja, como se ilustra en la Fig. 2. Esta delimitación geográfica es célebre por su gran

riqueza arquitectónica y artística, gracias a la conformación cultural y religiosa, representada en el tradicional trazado en damero (plan hipodámico), que en la actualidad conforma la mayor concentración de actividad demográfica y comercial.

Estas actividades antrópicas lo constituyen como centro urbano, que se remontan desde la capital del cacicazgo de los zaques en épocas prehispánicas, semejantes a otros asentamientos indígenas previa conquista y colonización del imperio español. El poder político se ha mantenido en similares zonas de grandes ciudades como Bogotá, Quito, México, D.F., Mendoza o San Pablo Brasil. En consecuencia, estos aplazamientos en la actualidad, cargan en su esencia el espíritu mestizo de la cultura hispanoamericana (Banco de la República de Colombia, 1997; Santamaría Delgado, 2017).

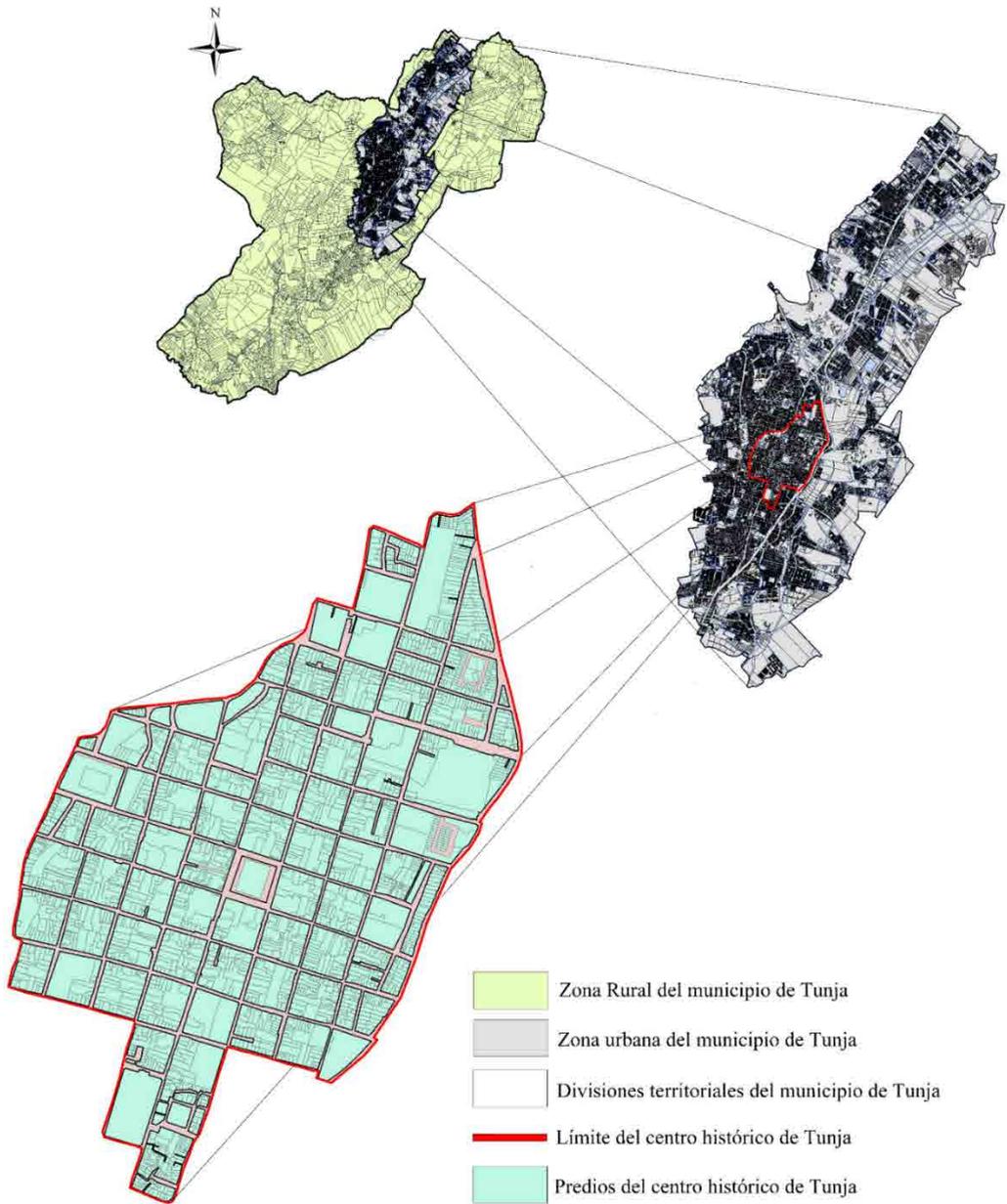


Fig. 2. Ubicación geográfica del centro histórico de Tunja y zona de estudio.

Fuente: elaboración propia.

2.2 El espacio público en el centro histórico de Tunja

El espacio público es un concepto fundamental para la vida urbana, especialmente en zonas de carácter especial, gracias a la importancia y vitalidad expresada sobre el espacio representativo de la ciudad (centro histórico), producto del acumulado patrimonial, su ocupación e interacción. Estas acciones manifiestas cumplen funciones, mediante mecanismos de regulación e interacción para identificar el estado y conservación del mismo. Lo anterior refleja el conflicto resultante de esta ocupación por los referentes organizacionales que ha constituido y conformado a través de los siglos.

Así, se permite afrontar el incremento en la complejidad en las diferentes dinámicas y los requerimientos espaciales para su suplencia en las actuales condiciones. Estas necesidades generan retos para mantener la calidad y conservación del patrimonio, gracias al enfoque competitivo y sus consecuencias. No obstante, estos cambios traen consigo transformaciones en las estructuras organizacionales con el fin de adaptarse a estos nuevos panoramas. Sin embargo, no es clara la gestión de calidad y su integración en los procesos de inspección para salvaguardar el patrimonio físico en el centro histórico de Tunja y su integración con variables espaciales y socioeconómicas (García Angulo, 2006).

Lo anterior contrasta con los fenómenos de globalización y los cambios espaciales en las ciudades que hace parte de la red económica mundial. Estos comportamientos generan dimensiones multifacéticas y una variedad de relaciones socioeconómicas que han repercutido en la urbanización y/o reestructuración de las urbes (Furlan, 2017; Joo & Park, 2017). Las organizaciones públicas y privadas se enfrentan a grandes retos por el entorno cambiante y la afectación del desempeño, estabilidad de las estructuras y mitigación de riesgos. Como parte de la planificación integral en gestión de calidad, esta metodología se ha basado durante mucho tiempo en la exposición a los riesgos y la vulnerabilidad física o estructural (Highfield, Peacock, & Van Zandt, 2014).

La vulnerabilidad física o estructural depende de las características físicas de los predios y la población en el entorno construido. Además,

el contraste con los modernos códigos de construcción diferencian la gestión de calidad y riesgo en las edificaciones como la elevación, el tipo de tejado o el revestimiento exterior. Estas particularidades de las edificaciones de carácter histórico y patrimonial exigen intervenciones especiales para la identificación de riesgos. Lo que es acentuado por las condiciones ambientales y antrópicas que provocan cambios en las condiciones físicas del predio (en muchos casos con relevantes efectos degenerativos e irreversibles) a lo largo del tiempo (Andretta, Coppola, Modelli, Santopuoli, & Seccia, 2017).

2.3 Gestión de calidad en proceso de inspección del patrimonio

Recientemente, se ha promovido la noción de vulnerabilidad social como una dimensión del desarrollo social del territorio. Por esto, la vulnerabilidad social considera las características socioeconómicas que han repercutido en la capacidad para prepararse, anticiparse, hacer frente y recuperarse de las amenazas (Highfield et al., 2014). El mapeo de la distribución de estas características permite captar la variabilidad en la capacidad de las edificaciones y su uso actual para la mitigación y recuperación. Lo cual genera grandes dificultades para identificar y gestionar los aspectos necesarios para que integren su evaluación histórica y coordinación para su conservación.

A menudo, no se emplea un plan de gestión de calidad para determinar el uso adecuado para las edificaciones patrimoniales en una ubicación concreta, junto al poco tiempo para asignar una reutilización adaptativa de los procesos para toma de decisiones relativas al uso y conservación de edificaciones patrimoniales (Chen, Judd, & Hawken, 2016; Ismail, 2019). Los factores considerados para el proceso de gestión de calidad en las edificaciones patrimoniales incluyen los materiales de construcción históricos, la economía y las características de la sociedad y las diferencias culturales (Ismail, 2019). Por las falencias en estas gestiones, la mala evaluación del estado de mantenimiento de una edificación y la falta de durabilidad de sus componentes repercuten en su vida útil.

Ibáñez, *et al.* (2016), afirman que los riesgos inherentes al proceso de servicio del edificio dependen de los métodos y técnicas para la

determinación del alcance de las actividades de mantenimiento. De modo que la gestión inadecuada y los bajos niveles de conocimientos técnicos durante las actividades de mantenimiento del patrimonio influyen negativamente en los factores de rendimiento financiero y de calidad.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Procedimiento general para establecer características de vulnerabilidad en edificaciones del centro histórico de Tunja

Mediante resolución 0428 de 2012, “*Plan Especial de Manejo y Protección del Centro Histórico de la Ciudad de Tunja*” (Ministerio de Cultura, 2012) se establece la zona de estudio como el área que integra el centro histórico de Tunja, sin considerar su zona de influencia. Esta área tiene una extensión de 1.124.132,21 m² y un total de 2423 predios. La Fig. 3 ilustra el proceso metodológico para establecer vulnerabilidad de las edificaciones del centro histórico de Tunja.

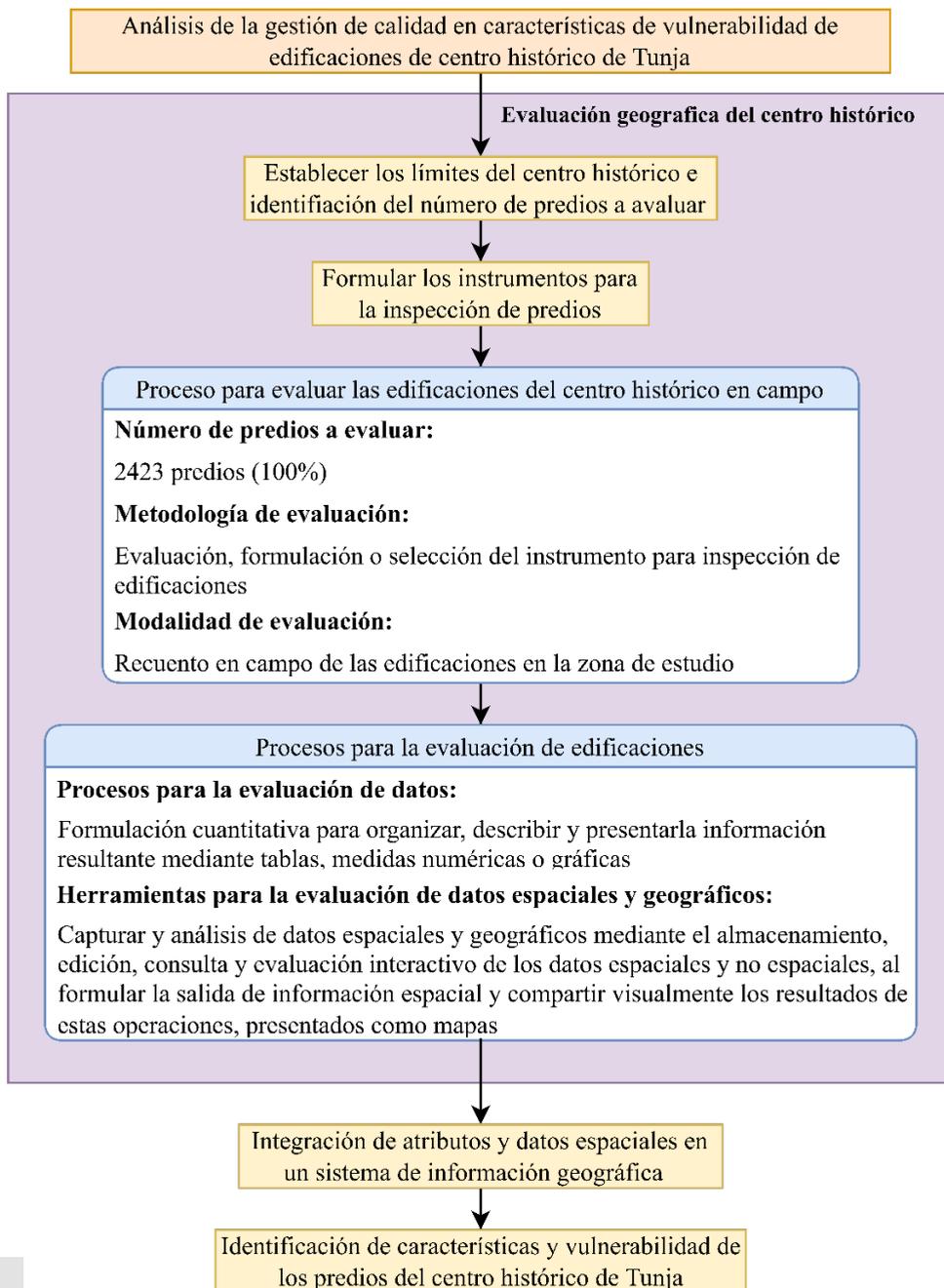


Fig. 3. Esquematación de la metodología implementada.

Fuente: elaboración propia.

A continuación, se desglosa el proceso metodológico implementado para establecer, analizar y presentar la información resultante que permite identificar zonas y características relacionadas con la vulnerabilidad de edificaciones que integran el centro histórico de la ciudad de Tunja.

3.2 Proceso para la evaluación de edificaciones

Con el fin de realizar un recuento ordenado de la información, se estableció el número de predios a evaluar. Las metodologías empleadas y modalidad de evaluación se desglosan en seguida:

3.2.1 Formulario para inspección de vulnerabilidad de edificaciones

Mediante la metodología de inspección y puntaje, formulada por la Asociación de Ingeniería Sísmica (AIS) a través de la utilización parcial del “*Formulario único para inspección de edificaciones después de un sismo*” (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS, 2002), se identifican las características potenciales y deficiencias estructurales de la edificación, con la inspección visual en campo, al atribuir valores numéricos a cada componente significativo de la misma y al seguir los planteamientos de inspección formulados en la “*Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo. Manual de campo*” (Alcaldía mayor de Bogotá, D.C., 2002).

Esta metodología se diseñó para evaluar de manera específica cada uno de las edificaciones de una zona, con el objetivo principal de determinar la seguridad de las construcciones, al identificar su riesgo, las capacidades de uso por la presencia de daños severos o de elementos que generan riesgo en el sector específico de la edificación.

La ponderación a partir de su importancia relativa se inicia con un reconocimiento del área asignada, junto con el análisis de la afectación de las edificaciones de forma puntual para entender las causas y tipo de daños, así como la severidad de los mismos. Estos conducen a la determinación de la vulnerabilidad y mecanismos para implementar gestiones de calidad adecuados (Melone, 2003). Esta metodología permite realizar una evaluación preliminar orientada para jerarquizar el nivel de vulnerabilidad de cada edificación. Las variables a identificar se establecen en el formato de evaluación expuesto en la Tabla 1.

Tabla 1. Guía para inspección en edificaciones para el centro histórico de Tunja.



ALCALDÍA MAYOR
DE TUNJA

FORMULARIO ÚNICO PARA INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



FECHA <input style="width: 80%;" type="text"/>	NOMBRE DEL BARRIO <input style="width: 80%;" type="text"/>	Código de Formulario <input style="width: 80%;" type="text"/> Inspección de la edificación <input style="width: 80%;" type="text"/>	Clasificación de habitabilidad 1. Exterior <input style="width: 80%;" type="text"/> 1. Habitabilidad 2. Uso Restringido <input style="width: 80%;" type="text"/> 2. Exterior y parcialmente interior <input style="width: 80%;" type="text"/> 3. No Habitabilidad 4. Peligro de Colapso <input style="width: 80%;" type="text"/> 2. No se pudo entrar <input style="width: 80%;" type="text"/>																					
IDENTIFICACION DE LA EDIFICACION Dirección: Carrera <input style="width: 20%;" type="text"/> Calle <input style="width: 20%;" type="text"/> Transv <input style="width: 20%;" type="text"/> Diag <input style="width: 20%;" type="text"/> Avda <input style="width: 20%;" type="text"/> Otro: <input style="width: 20%;" type="text"/> Número <input style="width: 80%;" type="text"/> Nombre de la Edificación <input style="width: 80%;" type="text"/> Uso predominante: 1. Residencial <input type="checkbox"/> 2. Comercial <input type="checkbox"/> 3. Educativo <input type="checkbox"/> 1 Piso <input type="checkbox"/> 4. Salud <input type="checkbox"/> 5. Hotelero <input type="checkbox"/> 6. Oficinas <input type="checkbox"/> 2 Piso <input type="checkbox"/> 7. Industrial <input type="checkbox"/> 8. Institucional <input type="checkbox"/> 9. Bodegas <input type="checkbox"/> 3 Piso <input type="checkbox"/> 10. Estacionamientos <input type="checkbox"/> 11. Museos <input type="checkbox"/> 12. Iglesias (patrimonio) <input type="checkbox"/> 4 y 5 pisos <input type="checkbox"/> 13. Monumentos <input type="checkbox"/> 14. Iglesias (estruc. Moderna) <input type="checkbox"/> 15. Otros <input type="checkbox"/> 6 pisos o más <input type="checkbox"/> 16. Lotes <input type="checkbox"/> 17. Deshabitado <input type="checkbox"/> 18. N/A <input type="checkbox"/> Número de pisos: <input style="width: 20%;" type="text"/> Dimensiones aproximadas de la edificación: Frente (m) <input style="width: 20%;" type="text"/> Fondo (m): <input style="width: 20%;" type="text"/>		DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Sistema Estructural Concreto Reforzado: 11 Pórtico de concreto 12 Muros estructurales 13 Sistemas duales 14 Prefabricados Mampostería: 21 Mampostería confinada 22 Mampostería reforzada 23 Mampostería no reforzada Acero: 31 Pórticos armostreados 32 Pórticos no armostreados Madera: 41 Pórticos y paneles en madera 42 Pórticos en madera y paneles en otro material 80. otros Bahareque: 51 Muro en Bahareque Adobe: 61 Muro en tapia 62 Muro en bloque 71 Mixto 72. Construida con material Precario SISTEMA ESTRUCTURAL <input style="width: 80%;" type="text"/> Año de construcción 1. Antes de 1930 <input style="width: 80%;" type="text"/> 2. 1930 a 1964 <input style="width: 80%;" type="text"/> 3. 1965 a 1997 <input style="width: 80%;" type="text"/> 4. A partir de 1998 <input style="width: 80%;" type="text"/>																						
ESTADO DE LA EDIFICACION Estado General de la Edificación Revisar la edificación en forma global para las condiciones señaladas a continuación y hacer las aclaraciones necesarias en la sección de comentarios. 1. Existe colapso: 1. No 2. Parcial 3. Total <input style="width: 80%;" type="text"/> 2. Desviación o inclinación de la edificación o de algún entrepiso: 1. Si 2. No 3. No se pudo determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 3. Falla o asentamiento de la cimentación: 1. Si 2. No 3. No se pudo determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> Daños en Elementos Arquitectónicos Indique el grado de daño de los elementos 5. Muros de fachadas o antepechos 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 6. Muros divisorios o particiones 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 7. Cielo rasos y luminarias 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 8. Cubierta 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 9. Tanques elevados 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 10. Andenes 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 11. Balcones 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 12. Pasamanos 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 13. Canales 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/>		14. Chapados superficiales 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 15. Ventanas 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 16. Portones 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 17. Elementos singulares (Cruces, Fierros, Farolas, rejillas). 1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo 6. No es posible Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 18. Cercanía a sistemas de emergencia (Alarmas, hidrantes y demás). 1. Cerca 2. En la misma cuadrada. 3. Lejos <input style="width: 80%;" type="text"/> Porcentaje de Daños Global de la Edificación Estimar el porcentaje del área afectada con relación al área total construida de la edificación. <table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 20%;">Rango</th> <th style="width: 10%;">%</th> <th style="width: 70%;">Clasificación Global del daño</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0%</td> <td><input style="width: 20%;" type="text"/></td> <td>1. Ninguno</td> </tr> <tr> <td>0 - 10%</td> <td><input style="width: 20%;" type="text"/></td> <td>2. Leve</td> </tr> <tr> <td>10 - 30%</td> <td><input style="width: 20%;" type="text"/></td> <td>3. Moderado</td> </tr> <tr> <td>30 - 60%</td> <td><input style="width: 20%;" type="text"/></td> <td>4. Fuerte</td> </tr> <tr> <td>60 - 100%</td> <td><input style="width: 20%;" type="text"/></td> <td>5. Severo Colapso</td> </tr> <tr> <td>100%</td> <td><input style="width: 20%;" type="text"/></td> <td>6. Total</td> </tr> </tbody> </table> Problemas de entorno 1. Edificio o infraestructura vecina crítica que pueda caer y afectar la estabilidad. 1. No 2. Si 3. No se pudo Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> 2. Evento adverso inminente que puede afectar la habitabilidad de la edificación 1. No 2. Si 3. No se pudo Determinar <input style="width: 80%;" type="text"/> Problemas Geotécnicos 10. Falla en talud o movimientos en masa 1. No 2. Puntual 3. General <input style="width: 80%;" type="text"/> 11. Asentamiento, subsidencia o licuación 1. No 2. Puntual 3. General <input style="width: 80%;" type="text"/> 12. Grietas en el Terreno circundante 1. No 2. Puntual 3. General <input style="width: 80%;" type="text"/>		Rango	%	Clasificación Global del daño	0%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	1. Ninguno	0 - 10%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	2. Leve	10 - 30%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	3. Moderado	30 - 60%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	4. Fuerte	60 - 100%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	5. Severo Colapso	100%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	6. Total
Rango	%	Clasificación Global del daño																						
0%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	1. Ninguno																						
0 - 10%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	2. Leve																						
10 - 30%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	3. Moderado																						
30 - 60%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	4. Fuerte																						
60 - 100%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	5. Severo Colapso																						
100%	<input style="width: 20%;" type="text"/>	6. Total																						

Tolosa Gordillo, Luis Miguel; Hernández Carrillo, Carlos Gabriel; Sarmiento-Rojas Jorge Andrés; Gúiza Pinzón Fabián



ALCALDÍA MAYOR
DE TUNJA

FORMULARIO ÚNICO PARA INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



RECOMENDACIONES Y MEDIDAS DE SEGURIDAD		
Se necesita visita especializada por aspectos:		
1. Estructurales <input type="checkbox"/>	2. Geotécnicos <input type="checkbox"/>	3. Servicios públicos <input type="checkbox"/>
Se recomienda intervención de:		
1. Planeación- Control físico <input type="checkbox"/>	2. Policía- Ejército <input type="checkbox"/>	3. Tránsito <input type="checkbox"/>
		4. Entidades de Rescate <input type="checkbox"/>
Medidas de seguridad:		
1. Evacuar parcialmente la edificación <input type="checkbox"/>	4. Restringir tráfico vehicular <input type="checkbox"/>	7. Apuntalar <input type="checkbox"/>
2. Restringir paso de peatones <input type="checkbox"/>	5. Evacuar totalmente la edificación <input type="checkbox"/>	8. Evacuar edificaciones vecinas <input type="checkbox"/>
3. Manejo de sustancias peligrosas <input type="checkbox"/>	6. Cubrir con plástico <input type="checkbox"/>	9. Control de aguas de escorrentía <input type="checkbox"/>
		10. Demoler elementos en peligro de caer <input type="checkbox"/>
		11. Desconectar 1. Energía 2. Gas 3. Agua <input type="checkbox"/>

CONDICIONES PRE-EXISTENTES	
1. Calidad de la Construcción: 1. Buena 2. Regular 3. Mala.	<input type="checkbox"/>
2. Posición de la edificación en la manzana: 1. Esquina 2. Intermedia 3. Libre por un costado 4. Libre por dos costados.	<input type="checkbox"/>
3. Condiciones topográficas: 1. Plano 2. Cresta 3. Ladera 4. Pie de ladera 5. Valle 6. Borde de canal, río o lago.	<input type="checkbox"/>
4. Hubo reparación. 1. Total 2. Parcial 3. Ninguna.	<input type="checkbox"/>
5. Tipo de cubierta 1. Plana 2. A un agua 3. A dos Aguas 4. A cuatro aguas 5. No se puede Determinar 6. Otra	<input type="checkbox"/>
6. Materiales de la Cubierta. 1. Teja de barro 2. Teja española. 3. Teja de asbesto 4. Teja plástica 5. Teja Metálica 7. Otra	<input type="checkbox"/>
7. Hay indicios de daños 1. Si 2. No	<input type="checkbox"/>
OCUPACION DE LA EDIFICACIÓN	
1. En el momento de realizar esta evaluación la edificación está 1. Habitada 2. Parcialmente Habitada 3. Deshabitada	<input type="checkbox"/>
2. Número de unidades Residenciales.	<input type="checkbox"/>
3. Número de unidades Comerciales	<input type="checkbox"/>
4. Número de unidades Deshabitadas	<input type="checkbox"/>
INFORMACIÓN DE CONTACTO	
Nombre	<input type="text"/>
Teléfono	<input type="text"/>

Comentarios:

Fuente: modificado de AIS. Formulario para inspección
de edificaciones después de un sismo, 2002.

3.2.2 Evaluación y clasificación del daño como herramienta en la gestión de calidad de edificaciones

Posterior a la inspección de la edificación, se evalúa el daño como valoración cualitativa en diferentes niveles de afectación identificados

cualitativamente. Esta valoración no indica directamente que los daños generen una preocupación en los habitantes de la edificación. Por lo que para definir la habitabilidad y el daño es necesario integrar factores relacionados con el estado de la edificación y su uso al implementar metodologías verificadas y utilizadas en el formato de evaluación propuesta en el Applied Technology Council (ATC), (Federal Emergency Management Agency, 1985).

Esta guía se adoptó recientemente en Colombia por la “*Guía Técnica para Inspección de Edificaciones después de un Sismo en la ciudad de Bogotá D.C.*” (Alcaldía mayor de Bogotá D.C., 2002). El diseño experimental permite la validación y objetividad de esta técnica de evaluación al aplicarse en contextos similares (ciudad de Bogotá, D.C.). De acuerdo con lo anterior, la metodología basada en estados de daño (obtenidos mediante relaciones de demanda contra capacidad en términos de rigidez, resistencia y disipación de energía) se expresa en la estandarización de porcentaje de daño según la evaluación cualitativa expuesta en la Tabla 2.

Tabla 2. Porcentajes de daño en edificaciones, evaluada por la metodología ATC.

Clasificación habitabilidad (color)	Caracterización del daño	Rango de daño (%)	Descripción
Habitable (Verde)	Ninguno	0	Sin daño.
Habitable (Verde)	Leve	0-10	Daño menor localizado en algunos elementos que no requiere permanente reparación.
Uso restringido (Amarillo)	Moderado	10-30	Daño menor localizado en muchos elementos que deben ser reparados.
No habitable (Naranja)	Fuerte	30-60	Daño extensivo que requiere reparaciones mayores.
Peligro de colapso (Rojo)	Severo	60-100	Daño grave generalizado que puede significar demolición de la estructura.
	Colapso Total	100	Destrucción total o colapso.

Fuente: Guía Técnica para Inspección de Edificaciones después de un Sismo. Manual de campo AIS., 2002.

Al obtener esta información en campo, los datos son ordenados y sistematizados mediante la implementación de sistemas de información geográfica (SIG), para conformar atributos y posteriormente realizar los

análisis respectivos que sustenten formulación de políticas adecuadas. Para este fin, se expone la formulación metodológica para el análisis y distribución de datos espaciales a continuación.

3.3 Análisis de la distribución espacial de los predios del centro histórico de Tunja

El análisis de la distribución espacial por tamaño de predios ubicados en el centro histórico se ha definido en lo normativa vigente por las dinámicas históricas y políticas en la actualidad. Esta formulación de aspectos físicos y culturales se ha plasmado en los diferentes materiales y técnicas constructivas utilizadas desde su constitución como urbe, junto con las variaciones que diversas actividades socioeconómicas han modificado en el entorno. Entonces, para el análisis de predios, es necesario establecer las diferentes unidades de observación, previa evaluación en campo. Estas se subdividen así:

- **Universo**

Está conformado por la totalidad de unidades prediales de uso residencial, económico o de servicio visibles, de los diferentes sectores de la economía, localizados en el centro histórico de Tunja.

- **Población Objetivo**

Se conforma por la totalidad de unidades prediales visibles de uso residencial, comercial o de servicios, ubicadas en puestos fijos según los diferentes sectores de la economía localizados en el centro histórico de Tunja.

3.3.1 Unidades de Observación

Son el compendio de estructuras o edificaciones individuales a evaluar, definidas para relacionar la información establecida en mapas oficiales con las características de vulnerabilidad identificadas en campo. Estas unidades se definen a continuación:

- **Manzana cartográfica**

Unidad que identifica la subdivisión física existente en los cuadrantes que conforman el centro histórico de Tunja. Como unidad de observación, las manzanas se definen por la separación entre ellas por vías de tránsito vehicular, peatonal y/o limitadas por accidentes naturales. Estas unidades se formulan como espacio urbano constituido por predios o edificaciones. Para su análisis, las manzanas y sus predios fueron georreferenciados junto al establecimiento de su identificación catastral. Estas unidades contienen información de lote o acotamientos, nomenclatura vial o domiciliaria, construcción, número de pisos y sectorización.

- Predio o unidad de muestreo

Corresponde a la delimitación del inmueble a evaluar y está definida como unidad básica de medida o unidad estadística. De modo que fueron caracterizadas previamente en mapas cartográficos integrados en un SIG. La Fig. 4 establece el esquema de las unidades de observación.

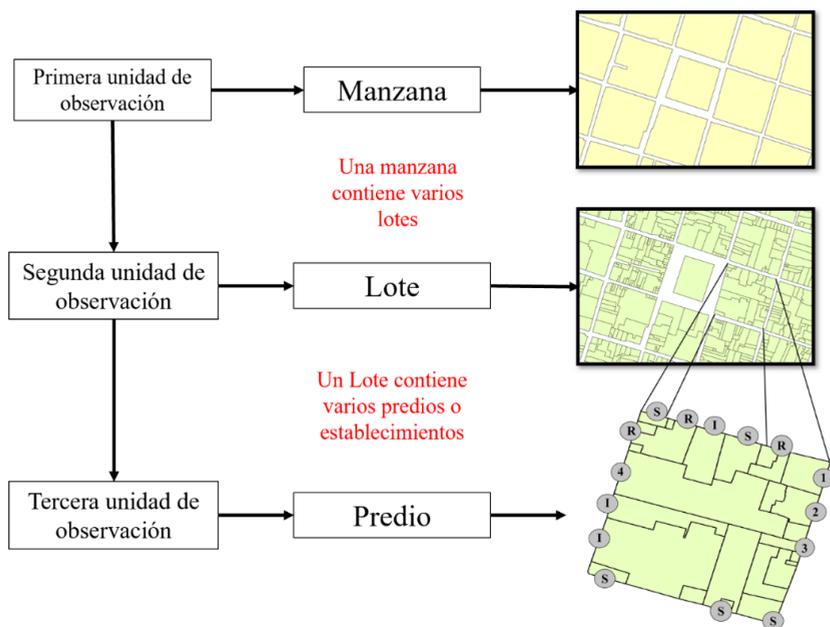


Fig. 4. Unidades de observación definidas.

Fuente: elaboración propia.

3.4 Método de recolección

La metodología implementada para recolección de información se realiza mediante el barrido por manzana por el desplazamiento físico de los sensores en cada manzana asignada con una nomenclatura previa para garantizar la completa cobertura de todos los predios. Para este fin se establecieron, previamente, el orden del recorrido por manzana y predio, según los siguientes parámetros:

- El recorrido de las manzanas se realizó de sur a norte.
- Los recorridos por manzanas y predios se realizaron con sentido horario.
- Los recorridos fueron realizados en horarios de 9:00 a.m. a 12:00 m. y de 2:00 p.m. a 8:00 p.m., con el fin de evaluar la dinámica comercial de los predios.

La evaluación está representada esquemáticamente en la Fig. 5.

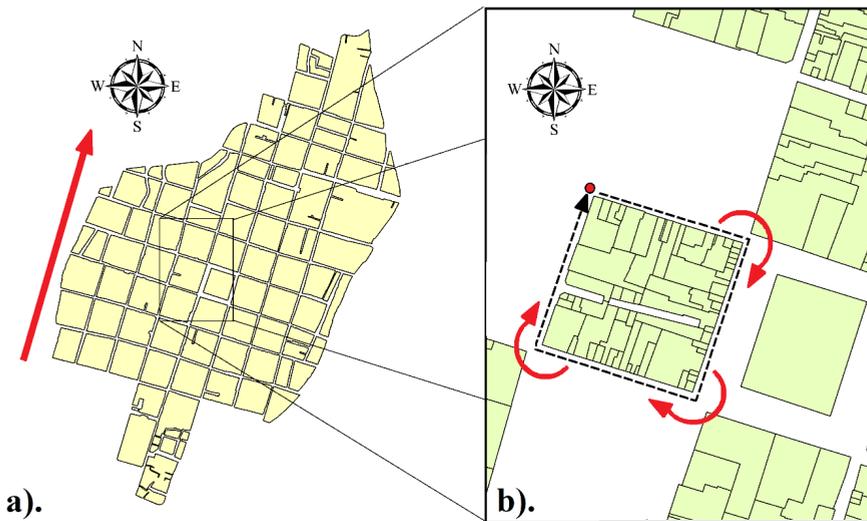


Fig. 5. Esquemización de la recolección en campo de información.

Fuente: elaboración propia.

3.4.1 Recuento de los predios evaluados

El recuento es realizado por la inscripción en formato papel y digital de los predios visibles dentro de los linderos del centro histórico. En la inspección se censó la actividad social o económica según la actividad socioeconómica realizada. La Fig. 6 expone, como ejemplo, la visualización de los predios evaluados.



Fig. 6. a). Ejemplo del predio y una actividad económica realizada, b). Ejemplo de la identificación de la vulnerabilidad de predio con fuerte daño global.

Fuente: elaboración propia.

3.5 Evaluación del entorno mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Mediante el software ArcGIS® se realiza la formulación de espacios vectoriales del centro histórico de Tunja, para representar de forma simplificada los datos espaciales que conforman los predios a evaluar. Estos atributos se representan mediante polígonos y puntos. Además, incluyen los atributos de cada predio e integración de estas dos tipologías de información con facilidades de análisis a través de su visualización geográfica (Campbell & Michael, 2012; Casado Echarren & Lora-Tamayo Vallvé, 2013). Estas representaciones son ilustradas en la Fig. 7.

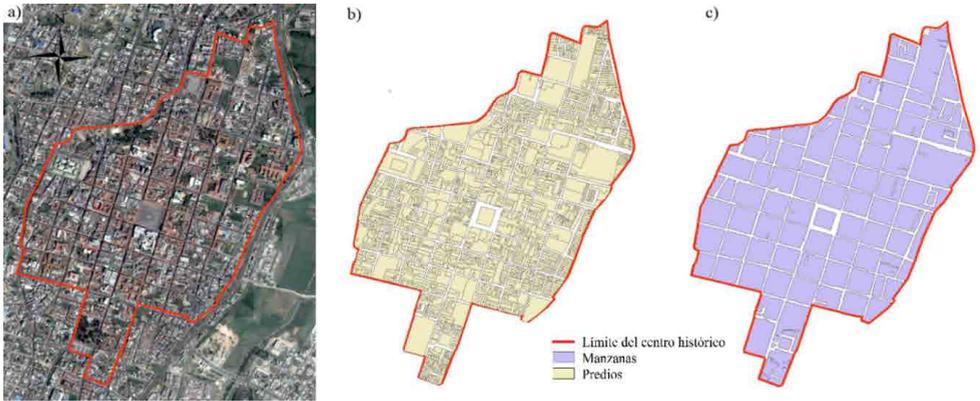


Fig. 7. Distribución geoespacial por manzanas y predios del centro histórico de Tunja.
A) Ubicación satelital; b). Distribución de predios; c). Distribución de manzanas.

Fuente: elaboración propia.

3.6 Proceso de vectorización y creación de “shapefiles” del centro histórico

Para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas se utilizan “shapefiles” en el Sistema de Información Geográfica (SIG), para representar a las edificaciones de forma simplificada por características espaciales (polígonos), mediante archivos de vectores con atributos editables en el programa ArcGIS®. Para este análisis se requiere su redimensión sin pérdida de calidad visual en búsqueda de representar las propiedades evaluadas de cada edificación. De modo que se requirió la obtención de datos vectorizados de las edificaciones ubicadas en el centro histórico en función de:

- El uso previsto de los datos.
- El nivel de detalle y precisión deseado.
- Base de datos disponible alrededor de la caracterización del centro histórico en este tipo de formatos.

3.7 Proceso de georreferenciación de los predios del centro histórico de Tunja en el SIG

La posición de los predios del centro histórico y entidades en una localización geográfica se han definido en un sistema de coordenadas y datum específicos para incluirlos en sistema de información geográfica

(SIG). Estos predios se representaron en objetos ráster (imágenes de mapa de píxeles) y objetos vectoriales (puntos, líneas, polilíneas en representación de objetos físicos) para un pertinente análisis de datos geospaciales. Para este fin se realizó el siguiente procedimiento:

3.7.1 Adopción de datum de referencia

Con base en el conjunto de puntos de referencia utilizado para ubicar zonas en el espacio terrestre, la ubicación de predios se realizó con datos utilizados en la geodesia, navegación y topografía de los cartógrafos y los sistemas de navegación por satélite. Estas observaciones se han formulado en las ubicaciones indicadas en los mapas (papel o digital) que representan la posición real en la Tierra. Así, mediante la Resolución 068 de 2005, se adopta como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de referencia – Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (MAGNA-SIRGAS), el cual será el datum de referencia utilizado en el proceso de análisis de los predios y atributos, caracterizado por:

- Adopción del estándar International Terrestrial Reference Frame ITRF94, época 1995,4.
- El tipo de Elipsoide utilizado es Geodetic Reference System 1980: GRS80 (Moritz, 1980, 1992).
- Se utiliza la proyección cartográfica Gauss – Krüger, modificada a la latitud del Observatorio Astronómico de Bogotá.

En resumen, se escogió como datum de referencia Magna-Sirgas Bogotá, debido a la mayor precisión de este en función de la ubicación cercana de Tunja con la capital de Colombia.

3.8 Análisis de densidad de las entidades en la vecindad

Mediante las densidades de proximidad por la función Kernel, se han establecido las zonas de concentración e influencias de los atributos relacionados con la vulnerabilidad. Además, esta metodología permite formular la evaluación de cercanías de predios a partir de características de puntos (posición geográfica) y la concentración de los mismos. Estas estimaciones se relacionan con el mayor valor superficial. Lo anterior se reduce a medida que se aleja del punto y llega a cero a cierta distancia

radial (Sandhu, Singh, Sisodia, & Chauhan, 2016). Este planteamiento se expresa en la ecuación (1):

$$Densidad = \frac{1}{(radio)^2} \sum_{i=1}^n \left[\frac{3}{\pi} \left(1 - \left(\frac{dist_i}{radio} \right)^2 \right)^2 \right] \quad dist_i < radio \quad (1)$$

Donde:

$i = 1, \dots, n$ son puntos de ubicación del predio.

$dist_i$ = distancia entre el punto i y la ubicación de la vecindad (x, y) .

El radio o zona de proximidad se calcula mediante la siguiente ecuación (2):

$$radio = 0,9 \min \left(SD, \sqrt{\frac{1}{\ln(2)} D_m} \right) n^{-0,2} \quad (2)$$

Donde:

D_m = Distancia media (ponderada) desde el centro medio (ponderado).

n = número de puntos de los predios evaluados.

SD = distancia estándar.

\min = la opción cuyo resultado sea de menor valor entre SD y $\sqrt{\frac{1}{\ln(2)} D_m}$

4. RESULTADOS

El centro histórico de Tunja expone el vestigio urbanístico colonial español. El cual siguió un modelo regular en los virreinos de Nueva España, Nueva Granada, Perú y Río La Plata. Este orden se organizó sobre una plaza principal en cuadros prolongados o manzanas regulares. Los solares fueron destinados únicamente a la iglesia, tiendas, casas reales y de tratantes. Mientras que los demás se repartían entre la población (Santamaría Delgado, 2017). De este modo, en la plaza principal se exponen por mitad de los costados, cuatro calles y ocho más por las

esquinas. Esta distribución espacial representa y diferencia a la ciudad colonial en la actualidad a partir de la cosmovisión cristiana o implantación de la cruz en las urbes. La regulación se realiza desde una plaza que simboliza las funcionalidades y el centro de la Justicia Real que hoy en día es reemplazado por instituciones públicas asentadas casi totalmente en esta zona. Así, la disposición de actividades socioeconómicas, implícitamente, expresan las relaciones entre la ubicación del predio y la actividad socioeconómica predominante.

4.1 Uso predominante del predio

La Fig. 8 ilustra, mediante SIG, la distribución del uso predominante del predio.

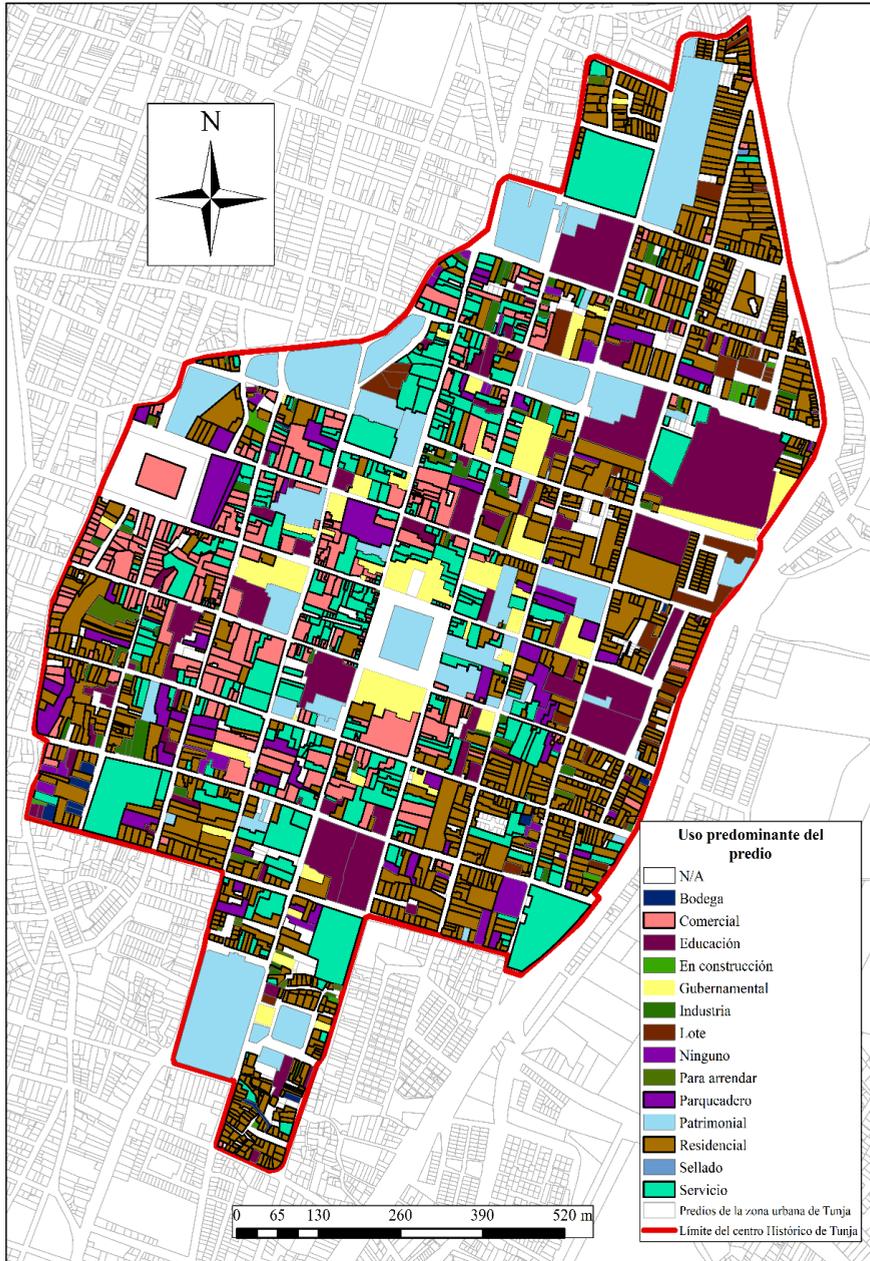


Fig. 8. Uso predominante del predio en la ciudad de Tunja.

Fuente: elaboración propia.

El uso predominante del predio establece características preponderantes de la actividad socioeconómica realizada en cada unidad evaluada según el tipo de estructura que soporta dicha actividad. Además, esta identificación ha permitido correlacionar daños y habitabilidad en las edificaciones estudiadas. Por esta razón, mediante SIG es posible relacionar el tipo de materiales de construcción que conforma el predio con el mantenimiento de la estructura, la visión global del daño y habitabilidad. Estas variables permiten la gestión de riesgos en los edificios patrimoniales, junto al uso del predio y evaluación de la vulnerabilidad en la estructura.

Esto posibilita determinar las prioridades de restauración al considerar la gravedad de los daños, las intervenciones de conservación utilizadas (por ejemplo, reparación o restauración) y herramientas de mapeo como sistemas de información geográfica que visibiliza de forma global o detallada la priorización de necesidades en la ejecución, estrategias de rehabilitación y el rendimiento del mantenimiento (Pérez-Monserrat, Fort, & Varas-Muriel, 2018; Andrés José Prieto, Silva, de Brito, Macías-Bernal, & Alejandre, 2017).

Los resultados expuestos anteriormente habilitan definir las ubicaciones geográficas representativas de las diferentes actividades económicas o sociales. El uso residencial es representativo en el centro histórico y se concentra en las periferias del mismo, con mayor incidencia en la zona suroriental. Esta distribución logra visibilizar su relación con el crecimiento de la ciudad. La cual se ha expandido en los extremos norte y sur debido a la morfología geográfica donde se ubica la ciudad, junto con la distribución espacial fragmentada sin orden urbanístico e influenciado por la avenida nororiental que en forma alargada propició el crecimiento tardío en la zona norte y que contrasta con un sur compacto y cercano al centro histórico (Hidalgo Guerrero, 2013). Lo anterior generó una transformación del uso de suelo con una mayor concentración y antigüedad en la zona sur del centro histórico en comparación con la zona norte y concentración de mayores actividades relacionadas con el uso residencial.

Por otro lado, los usos gubernamentales están prácticamente ubicados con exclusividad en el centro histórico y se distribuyen alrededor

de la Plaza de Bolívar, como eje del poder desde épocas coloniales. Así pues, es coherente identificar el crecimiento urbano que inició desde esta zona hacia las periferias y es común el marcado carácter multifuncional de edificaciones residenciales, comerciales, religiosas, administrativos, educativas, entre otras (Santamaría Camallonga, 2013). La Fig. 9 ilustra la distribución del uso predominante de los predios del centro histórico de Tunja.

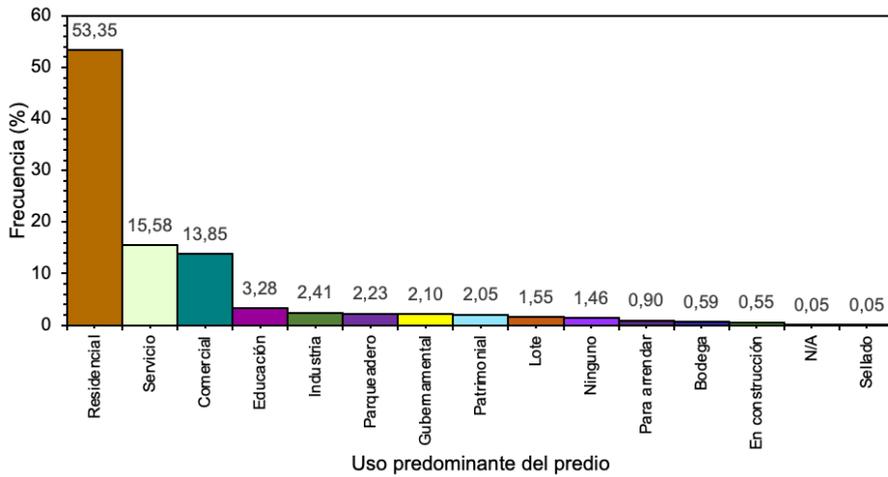


Fig. 9. Frecuencia de usos predominantes en los predios del centro histórico de Tunja.

Fuente: elaboración propia.

De modo que, al evaluar cuantitativamente el uso predominante del predio, se observa que su uso residencial prepondera con más del 50% frente a otros usos, debido a que esta zona concentró la mayor población en la ciudad desde su fundación hasta su continuo crecimiento posterior en el siglo XX. Esta información permite relacionar el uso de la edificación con las denominadas tipologías estructurales, a partir de los materiales constructivos que visualizan el daño y habitabilidad. Esto mediante la documentación técnica realizada en campo sobre la forma de los edificios individuales y los detalles sobre la construcción.

Es posible establecer la relevancia de los diversos parámetros para el comportamiento global de la estructura y cuantificar la vulnerabilidad relativa de los diferentes objetos con un nivel de fiabilidad adecuado (Romeu et al., 2014). A continuación, se realizará la discusión de

vulnerabilidad en edificaciones del centro histórico de Tunja al utilizar SIG.

5. DISCUSIÓN

5.1 Caracterización y diagnóstico de vulnerabilidad e integridad de las edificaciones del centro histórico

La Fig. 10 ilustra la valoración de habitabilidad según la metodología AIS planteada y evaluada en el centro histórico de Tunja.

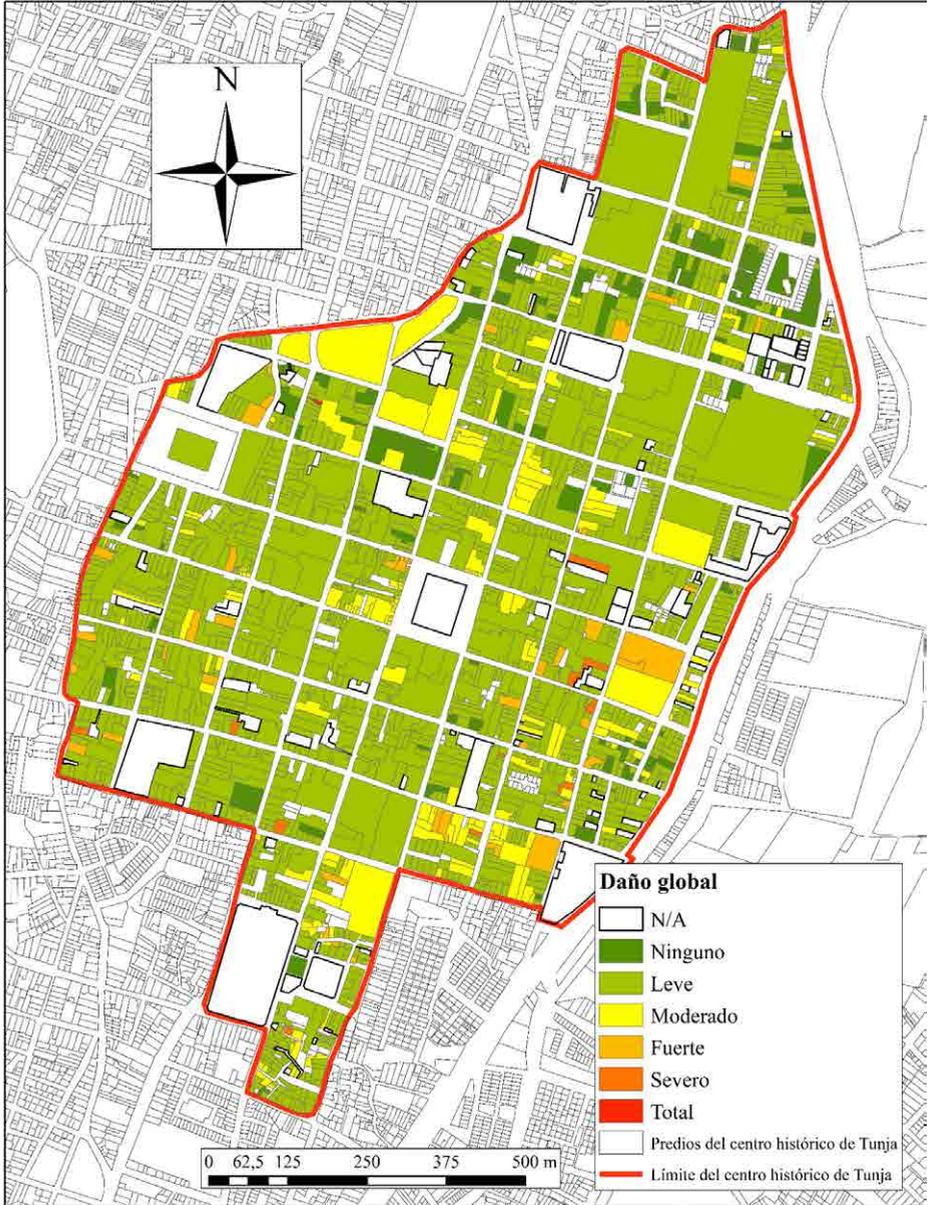


Fig. 10. Clasificación del daño en el centro histórico de Tunja.

Fuente: elaboración propia.

La evaluación de la vulnerabilidad urbana se formuló a partir del conocimiento detallado de las características geométricas y estructurales de las edificaciones (Costanzo et al., 2016). Por lo que se estableció una distribución espacial de las edificaciones ubicadas en esta zona que son densamente pobladas, con diferentes sistemas estructurales y heterogeneidad arquitectónica y comercial, de acuerdo con la metodología implementada (la cual permite procesar y clasificar los datos originales), al considerar las diferentes escalas espaciales que integran geoméricamente las propiedades de los heterogéneos materiales utilizados en esta zona. Por consiguiente, estos estudios facilitan la identificación del origen, condición e importancia las edificaciones.

Asimismo, los grandes volúmenes acopiados requieren herramientas fiables capaces de describir los entornos urbanos y fenómenos de vulnerabilidad asociados a las edificaciones evaluadas en detalle, mediante el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG), como se ilustra en la Fig. 11. Estas herramientas son capaces de satisfacer las necesidades específicas de vigilancia con la finalidad de mitigar los daños causados por un evento sísmico u otro tipo de desastre, para abordar adecuadamente conceptos de vulnerabilidad y los correspondientes al mantenimiento, reparación y vigilancia continua. Así pues, se expone la evaluación de vulnerabilidad de las edificaciones a continuación.

La evaluación cuantitativa del daño global expone que un gran segmento de los predios del centro histórico tiene un daño leve. No obstante, mediante la identificación temprana de estos, es posible mitigar el incremento del daño en el tiempo. La concentración de daños considerables se encuentra en mayor cantidad en el costado oriental que requiere intervenciones para impedir la reducción del daño en la vecindad y formular políticas de recuperación urbana, relacionadas con los niveles de intervención por falta de mantenimiento en zonas marginales del centro histórico.

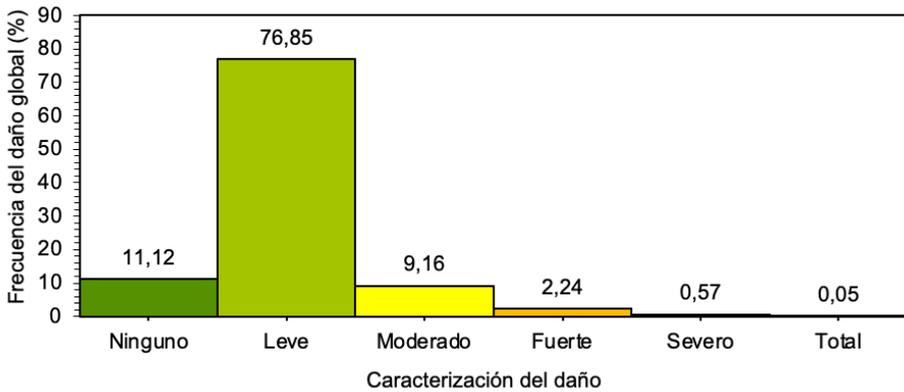


Fig. 11. Frecuencia global de daño en edificaciones del centro histórico de la ciudad de Tunja.

Fuente: elaboración propia.

Identificar y analizar el riesgo es una parte integral de la gestión de proyectos. Una gran cantidad de investigaciones sobre la gestión de riesgos se apoyan en el desarrollo y la evaluación de herramientas para su tratamiento (Osipova & Eriksson, 2013). Lo expuesto anteriormente permite observar por SIG la distribución porcentual y ubicación relativa de daños leves en un 88% de edificaciones, los cuales no limitan la habitabilidad en el centro histórico de Tunja. No obstante, un 12% pueden presentar condiciones de riesgo moderado a fuerte. Estos valores afectan la seguridad e integridad de todos los habitantes que pueden impactar directa e indirectamente en las dinámicas diarias incurridas en la principal zona comercial de la ciudad.

Estos riesgos y su ubicación espacial se concentran en la zona sur oriental de la ciudad y ubicación mayoritaria de residencias en situación de marginalidad urbana. Estos aportes, junto con la formulación de políticas específicas, minimizan las amenazas y maximizan las oportunidades de gestión. Conjuntamente, algunos riesgos se pueden prever y repartir entre los actores del mismo. De este modo, la identificación de estos riesgos permite asignar cambios de alcance al requerir diferentes tipos de respuesta. Igualmente, se integran a una propuesta urbana acorde a la adecuada identificación del riesgo. Esto mediante su sustento analítico, una evaluación sustentada y estrategias de respuesta y control (Sepasgozar et al., 2019).

Estas formulaciones deben integrarse al Plan Especial de Manejo y Protección (PEMP), como política para la gestión y la preservación de los Bienes de Interés Cultural (BIC), mediante estos planteamientos orientados a la protección de bienes como hechos físicos y elementos necesarios para su puesta en valor real y a su apropiación social (Alcaldía Mayor de Tunja, 2013). Esta unificación logra formular políticas coherentes con la Resolución 0428 de 2012 del Ministerio de Cultura.

5.2 Habitabilidad de las edificaciones en el centro histórico

La habitabilidad es definida como la capacidad que tiene una estructura de asegurar condiciones mínimas de comodidad y salubridad a sus habitantes. Por lo tanto, es un factor relevante en el diseño, construcción de edificaciones y la idoneidad de espacios físicos con las actividades socioeconómicas realizadas (A J Prieto, Chávez, & Alejandre, 2017). Así, las inspecciones realizadas para evaluar las deficiencias de funcionamiento de las construcciones arquitectónicas evitan posibles daños e intervenciones costosas. Además, su uso debe responder a condiciones estructurales, ambientales espaciales.

Estos deben considerar los accesos acordes y seguridad pertinente. Las edificaciones del centro histórico son vulnerables a los cambios producidos por condiciones socioambientales en el tiempo. Estos usos repetitivos generan desgastes que pueden ser identificados para su tratamiento por la evaluación periódica en las condiciones de habitabilidad, con el fin de brindar herramientas para soluciones que impiden a la población acceder a las condiciones de habitabilidad anteriormente definidas. Por lo anterior, las condiciones de habitabilidad en los predios del centro histórico fueron valuadas e integradas en un SIG, como se ilustra en la Fig. 12.

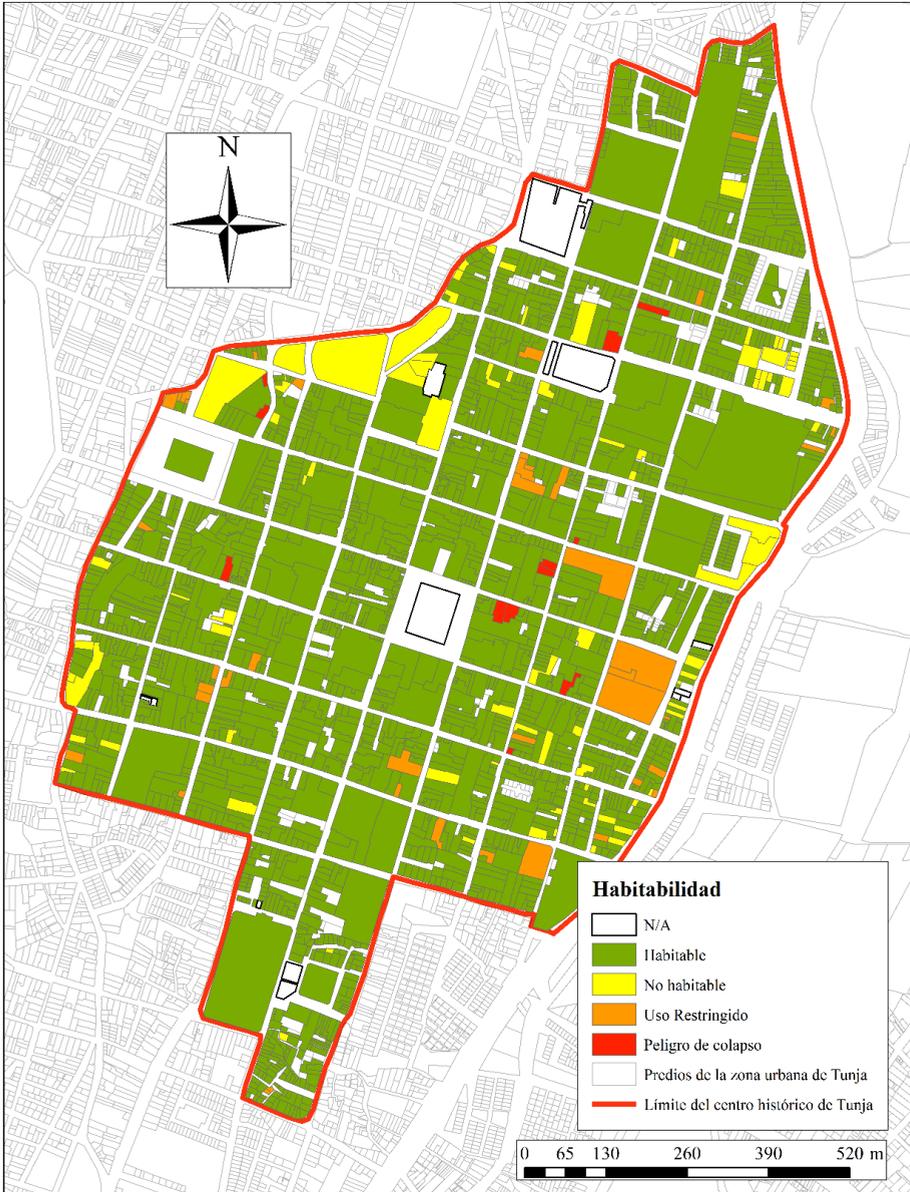


Fig. 12. Condiciones de habitabilidad en el centro histórico.

Fuente: elaboración propia.

Las condiciones de habitabilidad en el centro histórico exponen una habitabilidad del 93%; y un 4% de predios no son habitables. El 1,9% tiene uso restringido por diferentes razones e impide su uso potencial. Además, exponen un riesgo, en la medida en que no se realicen adecuaciones requeridas para su óptima condición. Asimismo, las herramientas SIG para la gestión de vulnerabilidad permiten integrar la ubicación espacial. Estas bajas condiciones de habitabilidad se concentran en áreas residenciales en el costado oriental del centro histórico. Igualmente, aquellos predios en peligro de colapso representan un riesgo latente. El cual debe resolverse lo antes posible. Estos se encuentran distribuidos en zonas cercanas a la Plaza de Bolívar. A lo cual se suma la afectación de una mayor cantidad de población.

5.3 Materiales de construcción utilizados

La buena calidad de los materiales de la construcción es fundamental para proporcionar la resistencia de los elementos que conforman la edificación (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE, 2010). Por lo que la evaluación de estas propiedades revela indirectamente la función que cumple o debe cumplir dicho inmueble, según las solicitudes diarias. Además, permite evaluar la susceptibilidad a eventos sísmicos o aquellos que involucren la resistencia mecánica del material. La evaluación de esta propiedad se muestra en la Fig. 13.

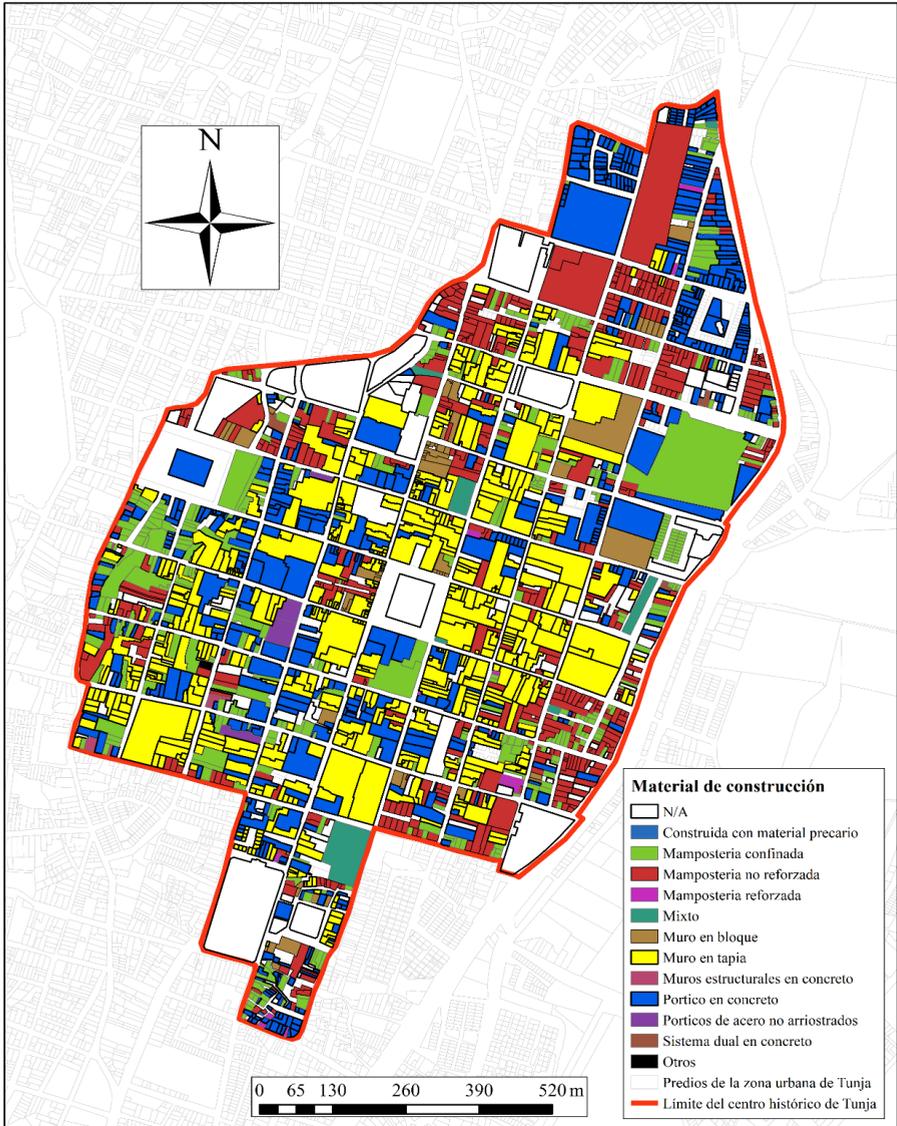


Fig. 13. Tipo de materiales y sistema estructural de las edificaciones del centro histórico.
Fuente: evaluación propia.

Se evidencian, por la heterogeneidad de materiales, los cambios arquitectónicos. Son producto del desarrollo e implementación de nuevas técnicas constructivas en función de la época y requerimientos estructurales para brindar servicios. Por esta razón, el material preponderante corresponde a casas tipo castellano. En su mayoría en edificaciones de dos pisos, con muros en tapia de tierra, relacionados con el patrimonio histórico heredado de épocas coloniales (Santamaría Delgado, 2015). Corresponde a edificaciones patrimoniales con diversos usos comerciales, de servicio, entre otros.

Además, este tipo de material de construcción se concentra en el epicentro arbitrario del centro histórico (Plaza de Bolívar). No obstante, en esta zona se encuentra un segundo material de construcción preponderante, el cual corresponde a pórticos de concreto, que, junto con los muros de adobe, se encuentran en la parte centro y la zona centro occidental, ubicados en la zona de mayor densidad comercial. Lo que es coherente a las solicitudes que deben asumir este tipo de estructuras, con el fin de brindar un servicio acorde a las cargas generadas por la adición de insumos comerciales y mobiliario.

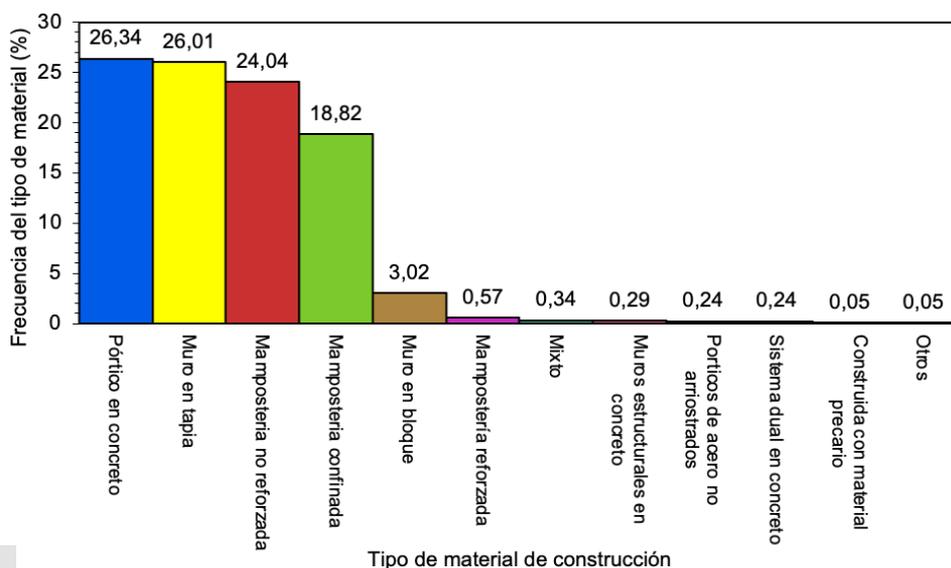


Fig. 14. Frecuencia de materiales y sistema estructural de los predios ubicados en el centro histórico.

Fuente: elaboración propia.

De la misma manera, el uso de mampostería no reforzada predomina en las residencias ubicadas en la zona sur oriental de la ciudad. Por otro lado, los materiales y sistemas estructurales de tapia o bloque de arcilla junto a la mampostería no reforzada constituyen el 50 % de las edificaciones del centro histórico. La mayoría de estos tipos de materiales son utilizados para casas de uno y dos pisos. La susceptibilidad a fenómenos que involucren la integridad y desgaste de estas edificaciones es mayor, en especial si el uso proferido es residencial, debido a la poca inversión en mantenimiento. La inexistencia de políticas en gestión de calidad reduce el tiempo de vida en estas edificaciones y aumenta el riesgo en la población residente en esta zona de la ciudad. Por lo que son necesarias políticas o procesos de mejoramiento físico en torno a la seguridad de las mismas, mediante la formulación de planes en la mitigación de riesgos que cumplan las normas sismo resistentes, con el fin de garantizar la integridad física y operacional, así como la seguridad de sus ocupantes (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE, 2010).

Por esto último, la evaluación del impacto de la calidad estructural, los materiales utilizados y su cantidad, permite establecer diversas políticas en cuanto a los futuros gastos de mantenimiento, dado que los materiales utilizados en el centro histórico son diversos y se distribuyen en zonas específicas que dificultan la generalización de criterios.

5.4 Evaluación de densidades o zona de influencia del daño en las edificaciones del centro histórico de Tunja

La Fig. 15 ilustra la conformación de densidades Kernel según el procedimiento formulado en el capítulo 3.5. Estas densidades muestran zonas con diferentes influencias por la concentración de edificaciones con daños fuertes, severo y total. Además, se correlacionan estos daños con la habitabilidad y materiales de construcción que conforman los sistemas estructurales en las edificaciones evaluadas.

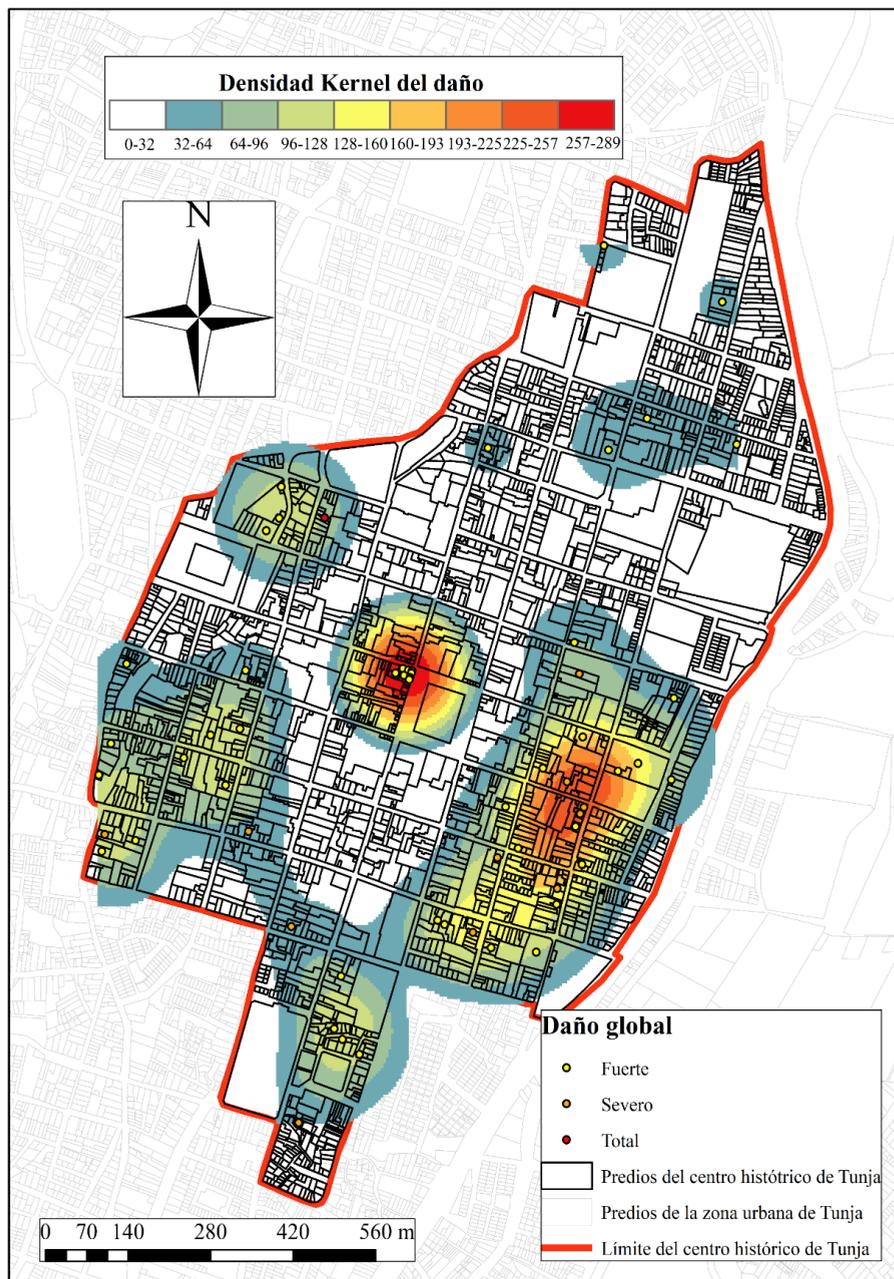


Fig. 15. Densidades o zonas de influencia del daño y habitabilidad en el centro histórico de Tunja.

Fuente: elaboración propia.

Los resultados exponen las zonas con mayor propensión a daños debido a la influencia de edificaciones que tienen un daño considerable en su estructura. Las cuales están relacionadas con materiales realizados con muro en tapia y mampostería. Si bien el tipo de edificaciones con estas características es numéricamente menor, el riesgo es mayor, ya que la zona sur oriental concentra la mayor cantidad de zonas para uso habitacional y comercial. Entonces, la gestión del riesgo permite ser una base para la planificación que integra los sistemas de gestión de calidad (Osipova & Eriksson, 2013). Esto supone la aplicación del pensamiento basado en riesgo para que estos sistemas funjan como una herramienta preventiva.

6. CONCLUSIONES

Gracias a la implementación de herramientas para identificar las condiciones físicas de los predios, es posible reforzar el manejo y aplicación de tecnologías de la información a través de sistemas de información geográficas, aplicados al heterogéneo entorno del centro histórico. El cual se compone por un diverso y enriquecido patrimonio histórico y arquitectónico para su preservación. La evaluación de vulnerabilidad y riesgo en edificaciones del centro histórico de Tunja permite el soporte de decisiones en la planeación estratégica que incorpore acciones de adaptación frente a los diversos cambios del entorno urbano, mediante las relaciones del entorno geográfico y actividades socioeconómicas con los predios que conforman el centro histórico. Esto facilita acciones para el incremento del alcance en las políticas tendientes a la administración y gestión del patrimonio cultural.

Así pues, es beneficioso implementar evaluaciones que integren la gestión de riesgo en la planificación para mejorar los sistemas de gestión de calidad y desarrollo socioeconómicos, según las características de las edificaciones del centro histórico a través de las herramientas SIG. Estos planteamientos permitieron visibilizar zonas de concentración de riesgo y dinámicas urbanas inherentes al centro histórico e integrar las cambiantes condiciones económicas como criterio de evaluación para determinar la flexibilidad, capacidad de respuesta e innovación, según la naturaleza de zonas con alto valor patrimonial.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Mayor de Tunja. (2013). Tomo II – Formulación I. Aspectos Genrales-Enfoque. In *Plan especial de Manejo y protección del centro histórico de Tunja y su zona de influencia* (pp. 1–8). Tunja, Boyacá: Alcaldía de Tunja.
- Alcaldía mayor de Bogotá D.C. (2002). *Guía Técnica para Inspección de Edificaciones después de un Sismo. Manual de campo*. Retrieved from <http://www.sire.gov.co>
- Andretta, M., Coppola, F., Modelli, A., Santopuoli, N., & Seccia, L. (2017). Proposal for a new environmental risk assessment methodology in cultural heritage protection. *Journal of Cultural Heritage*, 23, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2016.08.001>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica – AIS. (2002). *Guía técnica para inspección de edificaciones después de un sismo, Manual de campo* (Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá – FOPAE, ed.). Retrieved from <http://www.idiger.gov.co/documents/233481/262331/Formulario+V2F.pdf/fd60b2eb-4a5f-411d-94ae-46c0c3be853c>
- Banco de la República de Colombia. (1997). Tunja, memoria visual. In *Boletín del Museo del Oro*. Bogotá, Colombia: Banco de la República de Colombia.
- Campbell, J. E., & Michael, S. (2012). *Geographic Information System Basics*. 248. Retrieved from <http://2012books.lardbucket.org/pdfs/geographic-information-system-basics.pdf>
- Caputo, P., & Pasetti, G. (2017). GIS tools towards a renovation of the building heritage. *Energy Procedia*, 133, 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.388>
- Carbone, F., Oosterbeek, L., Costa, C., & Ferreira, A. M. (2020). Extending and adapting the concept of quality management for museums and cultural heritage attractions: A comparative study of southern European cultural heritage managers' perceptions. *Tourism Management Perspectives*, 35(March 2019), 100698. <https://doi.org/10.1016/j.tmp.2020.100698>
- Casado Echarren, A., & Lora-Tamayo Vallvé, M. (2013). La revitalización de espacios públicos dotacionales en la ciudad de Madrid. *Polígonos. Revista de Geografía*, 2013(25), 133. <https://doi.org/10.18002/pol.v0i25.1302>

- Chen, J., Judd, B., & Hawken, S. (2016). Adaptive reuse of industrial heritage for cultural purposes in Beijing, Shanghai and Chongqing. *Structural Survey*, 34(4–5), 331–350. <https://doi.org/10.1108/SS-11-2015-0052>
- Concejo Municipal de Tunja. (2016). *Plan de Desarrollo Municipal “Tunja en Equipo”*. Alcaldía Municipal de Tunja.
- Costanzo, A., Montuori, A., Silva, J. P., Silvestri, M., Musacchio, M., Doumaz, F., & Stramondo, S. (2016). The Combined Use of Airborne Remote Sensing Techniques within a GIS Environment for the Seismic Vulnerability Assessment of Urban Areas : An Operational Application. *MDPI*, 8(146), 22. <https://doi.org/10.3390/rs8020146>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística – DANE. (2015). *Informe de coyuntura económica regional (ICER)* (M. P. del Corral, ed.). Bogotá D.C.: Departamento Administrativo nacional de estadística de Colombia DANE.
- Departamento Nacional de Planeación(DNP). (2016). *Diálogos regionales para la planeación de un nuevo país*. Bogotá, D.C.
- Ding, L., Li, K., Zhou, Y., & Love, P. E. D. (2017). An IFC-inspection process model for infrastructure projects: Enabling real-time quality monitoring and control. *Automation in Construction*, 84, 96–110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.08.029>
- Federal Emergency Management Agency. (1985). *Earthquake damage evaluation data for California ATC-13*. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8817.2008.00463.x>
- Fondo de Prevención y Atención de Emergencias - FOPAE. (2010). *Bogotá Frente a la Gestión Integral del Riesgo Sísmico*. Bogotá, D.C.
- Furlan, R. (2017). Urban Regeneration of GCC Cities: Preserving the Urban Fabric’s Cultural Heritage and Social Complexity. *Journal of Historical Archaeology & Anthropological Sciences*, 1(1), 1–6. <https://doi.org/10.15406/jhaas.2017.01.00004>
- García Angulo, F. (2006). Fenómenos de ocupación del espacio público en Tunja. *3 Seminario Internacional de Arquitectos, Investigación en Temas de Arquitectura y Ciudad*, 54–59. Bucaramanga: Universidad Santo Tomás.
- Gómez Consuegra, L. (2015). El concepto de patrimonio cultural. *Revista de Conservación del Patrimonio Cultural*, 3(2), 23–35. <https://doi.org/10.34096/cas.i11.4709>

- Gutiérrez, L. J. G., Torres, I. T., & Molina, V. B. (2010). Quality management initiatives in Europe: An empirical analysis according to their structural elements. *Total Quality Management and Business Excellence*, 21(6), 577–601. <https://doi.org/10.1080/14783363.2010.483064>
- Hidalgo Guerrero, A. (2013). Desarrollo espacial e histórico del contexto urbano del campus universitario de la Universidad de Boyacá y la ciudad de Tunja, 1939-2005. *Dearq*, (13), 112–125. <https://doi.org/10.18389/dearq13.2013.09>
- Highfield, W. E., Peacock, W. G., & Van Zandt, S. (2014). Mitigation Planning: Why Hazard Exposure, Structural Vulnerability, and Social Vulnerability Matter. *Journal of Planning Education and Research*, 34(3), 287–300. <https://doi.org/10.1177/0739456X14531828>
- Ismail, Z. A. (2019). Developing a maintenance index framework for heritage concrete buildings. *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 37(5), 510–527. <https://doi.org/10.1108/IJBPA-11-2018-0092>
- Joo, Y., & Park, S. (2017). Overcoming Urban Growth Coalition: The Case of Culture-Led Urban Revitalization in Busan, South Korea. *Urban Affairs Review*, 53(5), 843–867. <https://doi.org/10.1177/1078087416638449>
- Melone, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico* (Universitat Politècnica de Catalunya). Retrieved from <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/6226/14CAPITULO5.pdf?sequence=14>
- Ministerio de Cultura. *Resolución No. 0428 del 27 de marzo de 2012. Por la cual se aprueba el Plan Especial de Manejo y Protección del centro Histórico de Tunja (Boyacá) y su zona de influencia, declarado bien de interés cultural del ámbito nacional.*, (2012).
- Ministerio de Cultura. (2011). *Formulación e implementación de manejo y especiales de planes protección, bienes inmuebles de interés cultural* (Taller Editorial Escuela Taller de Bogotá, Ed.). Bogotá, D.C.: Dirección de Patrimonio, Ministerio de Cultura, República de Colombia.
- Osipova, E., & Eriksson, P. E. (2013). Balancing control and flexibility in joint risk management: Lessons learned from two construction projects. *International Journal of Project Management*, 31(3), 391–399. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2012.09.007>

- Perez-Monserrat, E. M., Fort, R., & Varas-Muriel, M. J. (2018). Monitoring façade soiling as a maintenance strategy for the sensitive built heritage. *International Journal of Architectural Heritage*, 12(5), 816–827. <https://doi.org/10.1080/15583058.2017.1419312>
- Prajogo, D. I., & Sohal, A. S. (2003). The relationship between TQM practices, quality performance, and innovation performance: An empirical examination. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 20(8), 901–918. <https://doi.org/10.1108/02656710310493625>
- Prieto, A J, Chávez, M., & Alexandre, F. J. (2017). Fuzzy Modeling of the Functional Service Life of Architectural Heritage Buildings. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31, 1–13. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001021](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001021).
- Prieto, Andrés José, Silva, A., de Brito, J., Macías-Bernal, J. M., & Alexandre, F. J. (2017). Multiple linear regression and fuzzy logic models applied to the functional service life prediction of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 27, 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.03.004>
- Prieto Ibáñez, A. J., Macías Bernal, J. M., Chávez de Diego, M. J., & Alexandre Sánchez, F. J. (2016). Expert system for predicting buildings service life under ISO 31000 standard. Application in architectural heritage. *Journal of Cultural Heritage*, 18, 209–218. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2015.10.006>
- Rodríguez, P. (2008). El centro histórico: del concepto a la acción integral. *Revista de La Organización Latinoamericana y del Caribe de Centros Históricos*, 59.
- Romeu, V., D'Ayala, D., Miguel Ferreira, T., Varum, H., Costa, A., Mendes da Silva, J. A. R., & Lagomarsino, S. (2014). Seismic Vulnerability and Risk Assessment of Historic Masonry Buildings. In *Structural Rehabilitation of Old Buildings* (Vol. 2, pp. 109–130). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-39686-1>
- Sánchez Sánchez, H., & Pérez Tovar, J. C. (2019). Caracterización de la imagen comercial de los empresarios ubicados en el centro histórico de Tunja. *XII Congreso Internacional de Prospectiva y III Congreso Internacional de Emprendimiento*, 254–259. Bogotá, D.C.: Universidad Nacional Abierta y a Distancia Calle.
- Sandhu, H. A. S., Singh, G., Sisodia, M. S., & Chauhan, R. (2016). Identification of Black Spots on Highway with Kernel Density Estimation Method. *Journal of the Indian Society of*

- Remote Sensing*, 44(3), 457–464. <https://doi.org/10.1007/s12524-015-0500-2>
- Santamaría Camallonga, J. (2013). Centros históricos: análisis y perspectivas desde la Geografía. *GeoGraphos. Revista Digital para Estudiantes de Geografía y Ciencias Sociales*, 4(37), 115–137. <https://doi.org/10.14198/GEOGRA2013.4.37>
- Santamaría Delgado, L. A. (2015). *Historia urbana de Tunja durante la modernización del ciclo de conmemoraciones centenarias 1878 - 1939* (Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia; Vol. 53). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Santamaría Delgado, L. A. (2017). El urbanismo colonial en la ciudad de Tunja. *Designia*, 4(2), 61–81.
- Secretaría de Protección Social. (2013). *Análisis de la situación de salud con el modelo Conceptual de determinantes sociales de la salud*. Tunja, Boyacá: Alcaldía Mayor de Tunja.
- Senaratne, H., Mobasher, A., Ali, A. L., Capineri, C., & Haklay, M. (Muki). (2017). A review of volunteered geographic information quality assessment methods. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(1), 139–167. <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1189556>
- Sepasgozar, S. M. E., Karimi, R., Shirowzhan, S., Mojtahedi, M., Ebrahimzadeh, S., & McCarthy, D. (2019). Delay causes and emerging digital tools: A novel model of delay analysis, including integrated project delivery and PMBOK. In *Buildings* (Vol. 9). <https://doi.org/10.3390/buildings9090191>
- Velázquez, L., & Vargas, J. (2012). La sustentabilidad como modelo de desarrollo responsable y competitivo. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 11(enero-diciembre), 97–107.

IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE USUARIOS INNOVADORES QUE APORTAN A LA CALIDAD DE PROYECTOS

Sánchez Perdomo, Sandra Jennina¹
.....

1. INTRODUCCIÓN

Se ha demostrado que los usuarios innovadores constituyen una fuente valiosa de ideas que aportan en la calidad de los proyectos de innovación. Hoy en día es cada vez más importante involucrar usuarios innovadores en los procesos de innovación por su contribución en la generación de ideas, creación y mejoramiento de nuevos productos. Por lo que se hace necesario profundizar en estudios que permitan la correcta identificación de usuarios innovadores. Para llenar ese vacío, este estudio presenta el proceso de validación de una escala de medición para identificar a los usuarios innovadores y se siguen los pasos metodológicos que aseguran la rigurosidad, la confiabilidad y la validez del instrumento.

En la investigación se describe el proceso de validación de la escala, que incluye la definición del instrumento para identificar usuarios innovadores, la aplicación de una prueba piloto o escala prototipo, la aplicación de la escala final, análisis factorial exploratorio y confirmatorio (AFC), matriz de correlación por dimensión después de AFC, recolección de muestras y datos y una clasificación de los usuarios que aportan a la calidad de los proyectos.

1 Facultad de Administración, Finanzas y Ciencias Económicas, Universidad Ean.
sjsanchez@universidadean.edu.co

Un estudio como este es relevante en Colombia porque ofrece una mejor comprensión de las características y clasificación de los usuarios innovadores. Adicionalmente, con base en esos resultados, las empresas pueden identificar eficazmente el tipo de usuarios innovadores capaces de colaborar, aportar a la calidad de los proyectos y participar en los procesos de innovación de sus organizaciones.

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Flowers y Henwood (2010) indican la necesidad de identificar correctamente a los usuarios innovadores (p.108). Adicionalmente, Mujika-Alberdi et al., (2015) también mencionaron la necesidad de realizar contrastes psicométricos en la identificación de los usuarios innovadores y aplicar análisis confirmatorios a diferentes comunidades y regiones con variados niveles de desarrollo. En respuesta a esa necesidad, el objetivo de esta investigación es presentar una escala de medición para identificar usuarios innovadores que aporten a la calidad de proyectos de innovación y proponer una tipología para su clasificación.

Eric von Hippel, Profesor de MIT, en la década de los 70's se dedicó a estudiar el valor de los usuarios en los procesos de innovación y ha recolectado y documentado sistemáticamente información sobre los usuarios como fuente principal de innovación (von Hippel, 1976, 1977, 1978). Durante las últimas décadas, diversos investigadores han analizado el nuevo paradigma de la innovación centrada en el usuario. Han contribuido al avance y entendimiento de la innovación de los usuarios y su importancia en los procesos de desarrollo de nuevos productos, servicios y procesos de innovación (Von Hippel, 2009; Raash et al, 2008; Flowers, Sinozic, Patel, 2009).

En Colombia, la innovación es considerada uno de los motores del desarrollo económico, tecnológico y social (Departamento Nacional de Planeación 2010, p. 50; Ramírez, 2018). En este país, la política nacional de innovación reconoce a los usuarios consumidores, es decir aquellos que consumen un producto o servicio, como generadores de fuentes de ideas en los procesos de la innovación (Sánchez, 2016). En este sentido, Mujika-Alberdi et al., (2013) señala que los usuarios innovadores no

solo consumen productos manufacturados y comercializados, sino que también aportan en la generación de ideas, la creación y mejoramiento de nuevos productos. De esta manera, los usuarios innovadores también aportan a la calidad de proyectos innovadores.

Igualmente, Sánchez (2016) señala la necesidad de entender mejor el fenómeno de la innovación del usuario y profundizar en estudios que permitan la identificación de usuarios innovadores en Latinoamérica. Además, la participación de los usuarios innovadores aporta en la calidad de los proyectos de diseño y desarrollo de nuevos productos y/o servicios ayudando a los gerentes a adoptar un enfoque proactivo y reducir el riesgo de fallas comerciales por parte de los fabricantes (Henkel & von Hippel, 2005; Matthing, Sandén, & Edvardsson, 2004).

Para involucrar a los usuarios en los procesos de innovación es necesaria una correcta identificación y clasificación de esos usuarios innovadores. Las ideas de los usuarios innovadores fomentan vínculos de cooperación con los fabricantes de productos que se reflejan en la creación de soluciones que contienen un mejor desempeño (Globocnik, D., & Faullant, 2021). Según Gemünden, Lehner & Kock (2018) los líderes en innovación construyen mejores estructuras y procesos para la gestión de proyectos. Por lo anterior, incluir a los usuarios innovadores en los proyectos es de gran utilidad para mejorar la calidad de los proyectos.

2.1 Innovación del usuario y los usuarios innovadores

Según Von Hippel (2005) y Gault y Von Hippel (2009), la definición clásica de la innovación del usuario involucra tanto a las empresas usuarias como a los usuarios consumidores. En este sentido, los usuarios innovadores pueden ser empresas o individuos que se benefician del uso del producto o del servicio que ellos mismos han creado (Von Hippel, 2005). Estos usuarios pueden ser empresas innovadoras o proveedores que conocen las características del producto que proveen a su cliente y desarrollan un nuevo producto o servicio para su cliente o usuarios innovadores que consumen el producto o servicio y desarrollan una propuesta nueva o mejorada de aquel producto o servicio. Como resultado, Gault (2012) especifica que los usuarios innovadores son aquellos

usuarios que realizan actividades innovadoras como crear o modificar un producto para su beneficio.

Por otra parte, las innovaciones de los fabricantes o proveedores proceden de empresas con fines de lucro, ya que los fabricantes esperan beneficiarse de la venta de un producto o servicio (Von Hippel, 1976, 1986, 2009). Mientras que las innovaciones de los usuarios consumidores son desarrolladas para satisfacer sus propias necesidades, ellos innovan para su propio fin. En ese sentido, los usuarios pueden producir ideas valiosas que permiten el desarrollo de nuevos productos o servicios. Esta investigación se centra en la innovación del usuario a nivel de usuario consumidor, no del usuario fabricante o proveedor.

2.2 Un acercamiento conceptual a las características y clasificaciones de los usuarios innovadores

Existen numerosos estudios que demuestran la activa participación de los usuarios en el desarrollo de nuevos productos y servicios (Bogers, Afuah, & Bastian, 2010; Franke, von Hippel, & Schreier, 2006; Gemünden, Lehner & Kock 2018; Gruner, K. E., & Homburg, 2000; Hienerth, 2006; Lüthje & Herstatt, 2004; Lüthje et al., 2005; Schreier & Prügl, 2008; Raasch, Herstatt, & Lock, 2008; Hoyer, Chandy, Dorotic, Krafft, & Singh, 2010; Xie, Wu, Xiao, & Hu, 2016).

Bogers et al. (2010), afirman que el rápido ritmo del cambio tecnológico, la globalización y la creciente sofisticación de los usuarios implica una tendencia progresiva de los usuarios a innovar o contribuir a las innovaciones de los productores. De modo que el papel de los usuarios hoy en día es más activo y así lo seguirá siendo con el tiempo.

En la actualidad, diversos autores han publicado diferentes investigaciones que hacen referencia a las características de los usuarios innovadores. La literatura relacionada con los tipos de usuario y sus características ha permitido una nueva línea de investigación. Es así como Von Hippel (1986), propuso por primera vez el concepto de los llamados “lead users” o usuarios líderes. Las investigaciones en este respecto han evolucionado.

Luego, Pongtanalert y Ogawa (2015) plantean una clasificación reciente y nueva de los usuarios innovadores, en la que se especifica si los usuarios innovadores divulgan o no sus innovaciones y si pertenecen a alguna comunidad. La Tabla 1 muestra un resumen de diferentes tipos de usuarios y sus características.

Tabla 1. Tipos de usuarios y características

Fuente	Tipo de usuario	Característica
Von Hippel, E. (1986)	“Lead users”	Los usuarios líderes se enfrentan a necesidades que serán generales en un mercado antes de que el grueso de ese mercado las encuentre, y ellos se pueden beneficiar significativamente al obtener una solución a aquellas necesidades.
Baldwin, Hienerth, & Von Hippel, E. (2006)	Usuario innovador	Buscan desarrollar nuevos diseños para su propio uso personal o (en el caso de las empresas usuarias) beneficio interno de la empresa. El diseño para uso y prueba por uso son las características esenciales de los usuarios innovadores.
Gault y Von Hippel, E. (2009)	Usuarios innovadores	Empresas o consumidores que buscan beneficiarse del uso de un producto o servicio que ellos mismos han desarrollado.
	Usuario innovador fabricante	Las empresas o personas que se benefician de la venta de un producto o un servicio que desarrollan.
	“Lead users”	Los usuarios líderes son un subconjunto de todos los usuarios.
Baldwin y von Hippel, E. (2011)	Usuario innovador	Individuo que crea una innovación para utilizarla.
	Usuario innovador fabricante	Los productores esperan aprovechar su diseño al venderlo a los usuarios u otros.
Fratini, Bianchi, Massis, & Sikimic. (2014)	“Early adopters”	Son una categoría específica de adoptantes que compran el nuevo producto poco después de su lanzamiento y mucho antes que el cliente promedio porque perciben una razón convincente para usarlo.
Pongtanalert y Ogawa. (2015)	Innovadores reveladores	Usuarios innovadores que comparten sus innovaciones con otros, pero no pertenecen a comunidades.
	Innovadores silenciosos	Usuarios innovadores que no comparten innovaciones ni pertenecen a comunidades.
	Innovadores sociales	Usuarios innovadores que tienden a compartir sus innovaciones y pertenecen a las comunidades.
Mujika-Alberdi, et al (2015)	Usuarios avanzados	Aquellos usuarios que identifican necesidades específicas antes de que otros usuarios las vean y que son capaces de crear o modificar un nuevo producto para satisfacer esas necesidades.

Fuente: elaboración propia.

A pesar de la importancia de identificar a los usuarios innovadores y llevar a cabo grandes encuestas; Bogers et al. (2010), Wellner y Herstatt, (2014) y Ogawa y Pongtanalert, (2015) mencionaron la necesidad de explorar variables demográficas de los usuarios innovadores. Ogawa & Pongtanalert, (2015) propusieron una clasificación basada en tres tipos de usuarios innovadores, la cual provee nuevos conocimientos sobre los usuarios innovadores y nuevas áreas de investigación. Este estudio sigue las bases de aquella investigación y amplía esa propuesta de clasificación a cuatro categorías. Por esta razón, este estudio se relaciona con investigaciones previas y contribuye a un mejor entendimiento de los usuarios innovadores que aportan a la calidad de los proyectos, al proponer un instrumento de medición riguroso, fiable y válido para identificar usuarios innovadores que aportan a la calidad de los proyectos y una clasificación de los mismos.

3. MARCO METODOLÓGICO

Después de mencionar aspectos relevantes sobre la literatura de la innovación del usuario y la clasificación de los usuarios innovadores; este estudio tiene como objetivo ofrecer una escala confiable y válida para identificar a los usuarios innovadores que aportan a la calidad proyectos de innovación, así como también mostrar las características y la clasificación de ellos. Así pues, la investigación tiene un enfoque mixto de alcance descriptivo y corte transversal.

La muestra utilizada fue por conveniencia y se aplicó el instrumento a adultos mayores de 18 años. El cuestionario fue autoadministrado. Se recibieron 518 cuestionarios y después del proceso de limpieza, se declararon 433 cuestionarios válidos. Se obtuvo una tasa de respuesta del 83.5%. El proceso de limpieza de los cuestionarios consistió en un primer filtro, en el cual se revisaron que todos los cuestionarios analizados estuvieran diligenciados por completo. Un segundo filtro fue evitar falsos positivos al revisar aquellos cuestionarios con respuestas afirmativas a las preguntas de creación o modificación de productos. Por lo anterior, primero se preguntó por la originalidad de la innovación realizada por el usuario y se excluyeron aquellos en los que el encuestado expresaba

tener conocimiento de un producto equivalente ofertado en el mercado o hecho en casa.

Para la identificación de usuarios innovadores se utilizó la escala reportada por Flowers, et. al (2010), aplicada en Reino Unido, Japón, Estados Unidos y País Vasco (Gipuzkoa). La escala de medición fue validada y aplicada en el País Vasco por Mujika-Alberdi, Gibaja-Martíns y García-Arrizabalaga (2013). Debido a su simplicidad y practicidad, el cuestionario utilizado en este estudio fue tomado del reportado por Mujika-Alberdi, García & Gibaja (2013). Este cuestionario fue validado y adaptado al contexto colombiano y contiene variables demográficas tales como: género, edad, nivel de educación y capacitación técnica, datos relevantes en la identificación y clasificación de los usuarios innovadores.

3.1 El instrumento

Es necesario recordar que el propósito de esta escala es buscar usuarios innovadores que aporten en la calidad de proyectos para el desarrollo de nuevos productos. Cabe anotar que se considera usuario innovador a aquella persona que crea o modifica un producto para su propio beneficio. En este estudio, el usuario innovador será el individuo que realice al menos una de estas acciones; según el trabajo presentado por Mujika-Alberdi et al., (2015) y la escala “*Customers at the cutting edge*” para identificar usuarios avanzados.

La escala de medición consta de cuatro secciones: la primera recoge información sociodemográfica (edad, nivel educativo, ingresos, formación técnica y nivel educativo). La segunda indaga acerca de las innovaciones realizadas por usuarios consumidores. La tercera pregunta por las modificaciones o ajustes que los usuarios consumidores hicieron a los productos. La última sección busca características innovadoras del usuario con base en tres atributos: liderazgo del usuario (UL), curiosidad y creatividad (CR) y habilidades para desarrollar productos (SK). La última sección del instrumento está sujeta a todo el proceso de validación. Las preguntas orientadas a la identificación de los usuarios innovadores, antes de hacer el proceso de validación en el instrumento inicial, correspondían a 31 ítems descritos en la tabla 2.

Tabla 2. Ítems del instrumento inicial

Ítems	Afirmaciones
UL1	Identifico necesidades o resuelvo problemas que otras personas aún no son capaces de identificar o captar.
CR2	Soy una persona orientada/preocupada por mejorar las cosas (en el sentido de mejorar su eficiencia).
CR3	No me sirven las cosas estándares; no me conformo con lo que hay.
CR4	Me gusta ser diferente.
CR5	Me gustan las cosas personalizadas, adaptadas a mis necesidades.
SK6	Soy una persona habilidosa, ingeniosa.
CR7	Soy una persona con mucha curiosidad por las cosas nuevas.
CR8	Soy una persona con mucha imaginación.
CR9	Me considero una persona creativa.
UL10	Me interesa menos la apariencia de un producto que lo que pueda llegar a hacer.
CR11	Me gustan los desafíos.
SK12	Prefiero reparar un producto por mí mismo antes que encargárselo a alguien.
SK13	Soy una persona con mucha curiosidad por el funcionamiento interno de los productos.
UL14	Me gusta usar los productos de maneras que el fabricante no imaginó.
UL15	Me gusta pensar en nuevos usos para las cosas existentes.
CR16	Me esfuerzo por encontrar tiempo libre para mis aficiones.
UL17	Tengo la habilidad de poder transformar nuevas ideas en proyectos concretos.
SK18	Nunca desmonto un producto, porque sé que seré incapaz de montarlo.
CR19	Disfruto imaginando cosas nuevas.
UL20	Cuando veo un producto nuevo, puedo imaginar cómo me serviría para mi uso si lo modificara.
UL21	Se me ocurren fácilmente nuevas aplicaciones para productos existentes.
UL22	Los demás me consideran un innovador.
UL23	Mientras un producto funcione bien, no me interesa cómo está elaborado.
UL24	Me gusta experimentar.

Ítems	Afirmaciones
UL25	Además del uso habitual que la gente hace de un producto, yo también lo uso de otras maneras.
UL26	Me gusta crear cosas nuevas.
SK17	Si un producto se rompe, intento repararlo antes de comprar uno nuevo.
UL28	Me resulta fácil pensar en cosas nuevas que podría crear.
UL29	He sugerido a otros cómo podrían mejorar procesos o productos.
UL30	Cuando otras personas de mi entorno tienen un problema, recurren a mí para ver si puedo crear algo.
UL31	Me considero una persona inconformista.

Fuente: Mujika-Alberdi et al. (2015).

Después del proceso de validación, como se explica paso a paso en este documento, la escala final se compone de la siguiente manera: la dimensión de liderazgo de usuario (UL) comprende 5 ítems; la de curiosidad y creatividad (CR) consta de 4 ítems; y la de disponibilidad de tiempo y habilidades para desarrollar productos (SK) tiene 3 ítems. Esta investigación involucra los siguientes constructos:

1. Liderazgo del usuario: se refiere a determinadas actividades que realizan aquellos usuarios que son conscientes de una necesidad y pueden desarrollar una solución completamente nueva para atenderla (Mujika-Alberdi et al., 2015). Esos usuarios suelen disfrutar de la creación de cosas nuevas, aportan sugerencias para mejorar procesos o productos, desarrollan nuevas soluciones y se consideran innovadores. La característica “Liderazgo del usuario” se mide mediante una escala de cinco elementos. Los cinco ítems se derivan de estudios previos para identificar usuarios avanzados y corresponden a la escala propuesta por Mujika-Alberdi et al. (2015) Todos los elementos se midieron en una escala tipo Likert de uno a cinco, que van desde “Estoy totalmente de acuerdo” hasta “Estoy totalmente en desacuerdo”.
2. Creatividad: hace referencia al potencial creativo que muestran los usuarios cuando desarrollan soluciones nuevas y útiles para solucionar un problema. Este constructo revela la fuerte conexión entre la creatividad y los usuarios líderes. Estudios previos han

establecido que los usuarios líderes son personas creativas (Mujika-Alberdi et al., 2013; Faullant, et al., 2012). En los trabajos de Mujika-Alberdi et al. (2015) y Faullant, et al. (2012), se midió el grado de creatividad al usar una escala de cuatro ítems. Los cuatro enunciados se derivan y corresponden a la escala propuesta por Mujika-Alberdi et al. (2015) para identificar usuarios avanzados. Todos los elementos se midieron en una escala tipo Likert de uno a cinco, que van desde “Estoy totalmente de acuerdo” hasta “Estoy totalmente en desacuerdo”.

3. Habilidades para el desarrollo de productos: el objetivo de integrar usuarios avanzados en el proceso de desarrollo de nuevos productos es precisamente la creación de productos o soluciones nuevas que aporten a la calidad de los proyectos de innovación y sean prometedores para atraer a los clientes. Los usuarios líderes constituyen una fuente tremenda de ideas y soluciones novedosas que posteriormente pueden ser prototipadas y comercializadas (Lilien, Morrison, Searls, Sonnack y von Hippel, 2002). Para medir el grado de habilidades para el desarrollo de productos se utilizó una escala de tres ítems. Los tres ítems se derivan de la escala propuesta por Mujika-Alberdi et al. (2015) para identificar usuarios avanzados. Todos los elementos se calcularon en una escala tipo Likert de uno a cinco, que van desde “Estoy totalmente de acuerdo” hasta “Estoy totalmente en desacuerdo”.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Proceso de validación

Para asegurar la validez de este estudio, el autor siguió las sugerencias de Churchill (1979), Gerbing y Anderson (1988) y Moscoso, Gil y Rodríguez (2000). Para el contexto de este estudio, esos usuarios cumplen con la definición de usuarios innovadores, propuesta por Baldwin & von Hippel (2011), quienes definieron a un usuario innovador como una sola firma o individuo que crea una innovación para poder utilizarla.

El proceso de validación comenzó con la adaptación del instrumento al contexto colombiano. Fue necesaria una prueba piloto para probar el instrumento, asegurar una comprensión de la pregunta y una mayor claridad. Posteriormente, se obtuvo el primer conjunto de datos de muestra. Se utilizó un proceso de purificación de los datos al aplicar un Análisis Factorial Exploratorio (AFE). El instrumento se aplicó a un segundo conjunto de datos de la muestra. En este paso, se realizó un proceso de validación de datos, aplicando un AFE que asegurara la consistencia interna de la escala y para finalmente utilizar el Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) con el propósito de confirmar unidimensionalidad, confiabilidad, validez convergente y discriminante.

4.1.1 Adaptación del instrumento y validez facial y contenido

El primer paso en el proceso de validación ha sido la adaptación del instrumento a un nuevo contexto cultural. La comisión internacional de pruebas (2017) proporciona pautas detalladas para la adaptación de una prueba y se entiende este proceso como el ajuste del instrumento a un nuevo contexto cultural, que busca mantener la equivalencia lingüística, conceptual y de medición (International Test Commission, 2017).

Se tradujo, se adaptó el instrumento y se le realizó un estudio piloto con el fin de asegurar la validez de la escala y así disminuir el sesgo transcultural. Se hizo una traducción del inglés al español y se examinaron tanto la operacionalización como las propiedades psicométricas, su confiabilidad y validez. La traducción del instrumento se llevó a cabo con la ayuda de un experto bilingüe en el tema; el resultado de este proceso fue revisado por dos expertos que realizaron correcciones de contenido, redacción, claridad y gramática. Además de las pruebas de claridad y adecuación de la versión en el idioma de destino, se calcularon las características psicométricas, incluidas la coherencia interna, la fiabilidad y los indicadores de validez.

Con el fin de evaluar la validez de contenido, nueve académicos y expertos en áreas relacionadas con la gerencia de proyectos en las empresas, evaluaron 31 ítems del instrumento. Los criterios de evaluación consistieron en: coherencia, relevancia y sintaxis. El acuerdo del juez a

través de Fleiss' Kappa fue de 0,88 y ninguno de los elementos requirió modificaciones.

4.1.2 Prueba piloto

Una vez definidos los elementos iniciales, se realizó una prueba piloto para asegurar si la escala de medición era confiable y válida. La realización de una prueba piloto es un paso importante en la validación de un instrumento porque permite identificar aquellos elementos no válidos que se deben eliminar del cuestionario (Gerbing y Anderson, 1988). La prueba piloto se aplicó a una muestra aleatoria de 47 adultos, mayores de 18 años, que cursaban programas de pregrado en la universidad. Los encuestados tenían entre 18 y 45 años, el 55% de ellos eran mujeres. Se les pidió que completaran el cuestionario para indicar cualquier ambigüedad e informar cualquier dificultad experimentada al responder las preguntas. En esta etapa, la redacción y la puntuación de algunos elementos se refinaron para brindar una mejor comprensión a los encuestados (por ejemplo, “cuánto tiempo ha pasado” fue reemplazado por “cuántos días han pasado”).

4.1.3 La primera muestra y el cuestionario piloto

Según el método de Churchill (1979), se recolectaron dos conjuntos de muestras para depurar la medida y obtener estimaciones preliminares de confiabilidad y validez. La primera encuesta se aplicó a una muestra de adultos con edades comprendidas entre 21 y 34 años. El 51% eran mujeres estudiantes de pregrado en administración de empresas. Para depurar la primera muestra se realizó un Análisis Factorial Exploratorio (AFE), en el que se encontraron tres dimensiones: 1. Liderazgo del usuario; 2. Curiosidad y creatividad, y 3. Tiempo y habilidades para desarrollar productos.

4.1.4 Purificación del cuestionario piloto – primer Análisis Factorial Exploratorio AFE

El primer paso para depurar el cuestionario piloto fue ejecutar el AFE. Para esto, el método de extracción utilizado fue el análisis de componentes principales con rotación varimax. Los resultados fueron: Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) 0,852 y un resultado significativo ($p < 0.00$)

para la prueba de Barlett. Al analizar el KMO, los valores de 0,8 a 1 se consideran meritorios (Martínez and Sepúlveda, 2012). Tras la consideración de Mujika-Alberdi, et al. (2015), el número de factores elegidos para ejecutar la EFA fue tres. Como resultado, se extrajeron los tres factores que representan el 44,926% de la varianza; el primer factor, el 28,307%, el segundo, el 9,847% y el tercero, el 6,152%.

Martínez y Sepúlveda (2012) mencionaron un enfoque para mirar las cargas factoriales: valores menores a 0.3 se consideran no significativos; entre 0,3 y 0,5, mínimo aceptable; entre 0,5 y 0,7, significativo, y los valores superiores a 0,7 se consideran relevantes. Tras su consideración, para ejecutar este EFA, se eliminaron los elementos por debajo de 0,5, de modo que el resultado muestra que los ítems 1, 2, 3, 5, 10, 16, 23, 24 y 31 no estuvieron representados. Al seguir la consideración de Mujika-Alberdi, et al. (2015) y Martínez, y Sepúlveda (2012) y dados los resultados, en esta investigación, los ítems 1, 2, 3, 5, 10, 16, 23, 24 y 31 fueron eliminados.

4.1.5 Purificación del cuestionario piloto – Segundo AFE

Para continuar el proceso de depuración, luego de eliminar los ítems 1, 2, 3, 5, 10, 16, 23, 24 y 31, se corrió un segundo EFA. Los resultados fueron estos: se mejoró el KMO. Fue de 0,879 y se mantuvo un resultado significativo ($p < 0,00$) para la prueba de Barlett. Además, se extrajeron los tres factores que explican el 54.146% de la varianza: el primer factor es de 33.561%, el segundo es de 12.967% y el tercero es de 7.618%. Para ejecutar el AFE, el método de extracción utilizado fue el análisis de componentes principales con rotación varimax. Los resultados muestran que el ítem 18 no estaba debidamente representado. La matriz de componentes rotada muestra la distribución de los elementos entre los tres factores. Según la literatura, Martínez y Sepúlveda (2012) mencionaron que las cargas factoriales entre 0.5 y 0.7 son significativas. Cada elemento de la matriz de componentes rotados está por encima de 0,5.

4.1.6 Purificación del cuestionario piloto – Tercer AFE

Finalmente, luego de eliminar el ítem 18, se corrió un tercer AFE. El método de extracción utilizado fue el análisis de componentes principales con rotación varimax y como resultado se mejoró la consistencia interna de la escala en términos de varianza. El KMO fue 0,881 y se mantuvo la significancia ($p < 0,00$) para la prueba de Barlett. Se extrajeron los tres factores que explican el 56,208% de la varianza; el primer factor corresponde a 35,132%, el segundo, al 13,464% y el tercero, al 7,126%.

4.1.7 Evaluar la fiabilidad

En esta investigación, los ítems se agrupan según la perspectiva teórica, es decir, los ítems originales se agrupan en la dimensión propia y original. Por lo tanto, las dimensiones se componen de la siguiente manera: liderazgo de usuario (UL) consta de siete elementos (UL17, UL21, UL22, UL26, UL28, UL29, UL30); curiosidad y creatividad está compuesto por cinco ítems (CR4, CR7, CR9, CR11, CR19); disponibilidad de tiempo y habilidades para desarrollar productos comprende tres ítems (SK12, SK13 y SK27).

Posteriormente, se calcula la fiabilidad y consistencia interna, a través del índice Alfa de Cronbach. Según Nunnally y Bernstein (1994), un Alfa de Cronbach de 0,7 es considerado superior. Los resultados para cada uno de los constructos son: constructo de liderazgo del usuario (UL) = 0,864 con 7 ítems; constructo de curiosidad y creatividad (CR) = 0,793 con 5 ítems y constructo de disponibilidad de tiempo y habilidades (SK) = 0,661 con 3 ítems. Además, Martínez y Sepúlveda (2012) sugirieron una mirada a la matriz de correlación entre ítems y recomendaron valores de correlación de moderados a altos dentro de cada variable, es decir, valores superiores a 0,30. Las Tablas 3, 4 y 5 muestran la matriz de correlaciones.

Tabla 3. Liderazgo del Usuario (UL) Estudio Piloto matriz de correlaciones

	UL28	UL29	UL30	UL26	UL22	UL17	UL21
UL28	1						
UL29	0,64	1					
UL30	0,528	0,647	1				
UL26	0,574	0,559	0,464	1			

	UL28	UL29	UL30	UL26	UL22	UL17	UL21
UL22	0,527	0,535	0,533	0,496	1		
UL17	0,384	0,433	0,406	0,424	0,315	1	
UL21	0,426	0,393	0,41	0,409	0,535	0,269	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 4. Disponibilidad de tiempo y habilidades SK
estudio piloto matriz de correlaciones

	SK27	SK12	SK13	UL14	UL15	UL25	UL20
SK27	1	0,533	0,53	0,437	0,371	0,397	0,417
SK12	0,533	1	0,626	0,425	0,42	0,315	0,293
SK13	0,53	0,626	1	0,447	0,43	0,393	0,389

Fuente: elaboración propia.

Tabla 5. Curiosidad y creatividad (CR) estudio piloto matriz de correlaciones

	CR7	CR8	CR9	CR11	CR19
CR7	1	0,537	0,469	0,413	0,415
CR8	0,537	1	0,658	0,36	0,478
CR9	0,469	0,658	1	0,44	0,498
CR11	0,413	0,36	0,44	1	0,406
CR19	0,415	0,478	0,498	0,406	1

Fuente: elaboración propia.

4.1.8 El segundo y final cuestionario

La consistencia interna de la escala también se midió para el cuestionario final. KMO fue 0,926 y el resultado ($p < 0,00$) para la prueba de Barlett fue significativo. La varianza total explicada para el cuestionario final muestra que se extrajeron tres factores que representan el 53,695%. El primer factor explica el 38,899%, el segundo factor 8,790% y el tercer factor 6,006%. Para ejecutar el AFE, el método de extracción utilizado fue el análisis de componentes principales con rotación varimax, cuyos resultados muestran comunalidades superiores a 0,4. Sin embargo, después de este proceso, se eliminaron los ítems por debajo de 0.45.

En otras palabras, la dimensión de liderazgo del usuario (UL) consta de cinco elementos (UL17, UL22, UL26, UL28, UL29, UL30); curiosidad y creatividad está compuesto por cinco ítems (CR4, CR7, CR9,

CR11, CR19); y disponibilidad de tiempo y habilidades para desarrollar productos comprende tres ítems (SK12, SK13 y SK27). La Tabla 6 ilustra el Alfa de Cronbach para cada dimensión, de esta manera se demuestra confiabilidad y consistencia interna, porque los índices son superiores a 0,7.

Tabla 6. Alfa de Cronbach para cada dimensión del cuestionario final

Variables	Alfa de Cronbach	No. de elementos
CR4 CR7 CR8 CR9 CR11 CR19	0,804	6
SK12 SK13 SK27	0,772	3
UL17 UL22 UL28 UL29 UL30 UL26	0,835	6

Fuente: elaboración propia.

4.2 Validez de construcción

La validez de constructo existe cuando una medida representa de manera confiable y veraz un concepto único (Zikmund, Babin, Carr y Griffin, 2010 p. 650). En esta investigación, la validez del constructo se prueba a través del análisis de la validez convergente y la discriminante. A los efectos de este estudio, se ha elegido el Análisis Factorial Confirmatorio (AFC) como la herramienta adecuada para evaluar la validez de constructo. Como Zikmund, et al. (2010) mencionaron, los procedimientos estadísticos como el análisis factorial son útiles para proporcionar evidencia de validez de constructo. Se realizó un análisis factorial confirmatorio (AFC) mediante la EQS 6.1 y se aplicó el procedimiento de máxima verosimilitud con base en la matriz de covarianza.

4.2.1 Evaluación de la bondad de ajuste

Se han desarrollado muchos índices alternativos para medir el modelo de bondad de ajuste. Hair et al. (2006), Pallant (2010) y Barret (2007) especificaron que el estadístico Chi-cuadrado es una medida tradicional para evaluar el ajuste general del modelo en modelos de estructura de covarianza. Una medida aceptable en la evaluación de la bondad del ajuste está dada por la relación entre Chi-cuadrado y los

grados de libertad X^2 / gl (Koufteros, 1999). La relación X^2 / gl sugerida está entre uno y cinco (Marsh y Hocevar, 1988).

Otras medidas de ajuste del modelo utilizadas en esta investigación son el error cuadrático medio de aproximación (RMSEA) (Garver y Mentzer, 1999), el índice de bondad de ajuste (GFI) y el índice de bondad de ajuste ajustado (AGFI) (Moscoso, Gil, & Rodríguez, 2000), el índice de ajuste comparativo de Bentler (CFI) (Bentler, 1986), el índice de ajuste no normalizado (NNFI) (Garver y Mentzer, 1999), y el índice de ajuste normado (NFI) (Bentler y Bonnet 1980; Hooper, Coughlan y Mullen, 2008).

Los 15 elementos de la escala se examinaron al utilizar AFC sobre la base de los resultados de EFA. Para lograr un modelo de bondad de ajuste se requirió un proceso de iteración. Durante la iteración se eliminaron tres elementos: CR4, CR11 y UL17. La Tabla 7 muestra los resultados que indican un ajuste del modelo aceptable para M3 ($x^2 / gl = 2.9$; GFI = 0.931; CFI = 0.935; NNFI = 0.915; RMSEA = 0.079) (Bentler y Bonett, 1980; Gerbing y Anderson, 1988) y, por consiguiente, confirman la unidimensionalidad de los constructos, ya que todos los índices demuestran un ajuste aceptable de los datos al modelo.

Tabla 7. Índices del Análisis Factorial Confirmatorio

Índices	Ítems	X2	Grados de Libertad (gl)	X2 / gl ratio	RMSEA	CFI	NNFI	NFI	AGFI	GFI
Valor aceptado				1-5	<0.08.	>.90	0.80<0.95		>.80	>.90
M		340	87	3,9	0.082	0.900	0.879	0.871	0.853	0.894
M1	CR4	287	74	3,9	0.082	0.911	0.891	0.884	0.868	0.907
M2	CR11	204	62	3,3	0.073	0.936	0.920	0.912	0.898	0.930
M3	UL17	149	51	2,9	0.079	0.935	0.915	0.913	0.895	0,931

Fuente: elaboración propia.

La lista de los elementos eliminados del análisis del modelo de bondad de ajuste a través del proceso de iteración se muestra en la Tabla 8. El proceso de iteración cambió el número de factores bajo las construcciones CR y UL.

Tabla 8. Iteraciones para el modelo de bondad de ajuste

Código	Constructo	Ítem(s)	Eliminados
CR4	Curiosidad y creatividad (CR)	Me gusta ser diferente	Iteración 1 (CR4)
CR11	Curiosidad y creatividad (CR)	Me gustan los retos	Iteración 2 (CR11)
UL17	Liderazgo del Usuario (UL)	Tengo la capacidad de transformar nuevas ideas en proyectos concretos	Iteración 3 (UL17)

Fuente: elaboración propia.

El modelo se sometió a AFC de primer orden al utilizar EQS 6.1. **El factor 1** corresponde al factor SK, que incluye las siguientes variables: SK12; SK13; SK27. **El factor 2** corresponde a CR que incluye las siguientes variables: CR7; CR8; CR9; CR19. **El factor 3** representa la construcción UL, que incluye los siguientes elementos: UL22; UL26; UL28; UL29; UL30. El AFC se llevó a cabo para lograr un ajuste de modelo válido para los datos obtenidos, así como soportes teóricos detrás del modelo desarrollado por Mujika-Alberdi, et al (2015). La prueba de primer orden implica que se ajustaron 12 variables representadas en tres constructos: liderazgo del usuario (UL), curiosidad y creatividad (CR), y tiempo y habilidades para desarrollar productos (SK).

4.2.2 Validez convergente y discriminante

La validez convergente examina si los ítems que miden el mismo constructo están altamente correlacionados (Hair et al., 2006). El valor de la varianza media extraída (AVE) se utiliza como indicador para respaldar la validez convergente; el valor aceptado de AVE para cada constructo debe ser de al menos 0,50 (Fornell y Larcker, 1981).

La validez discriminante representa cuán únicas o distintas son las medidas de un constructo (Zikmund, et al., 2010). Para determinar la validez discriminante, es necesario tener en cuenta un AVE mayor que la correlación al cuadrado entre constructos (Gerbing y Anderson, 1988). En esta investigación, el valor de AVE se calculó al utilizar la matriz de inter-correlación y la raíz cuadrada del AVE en la diagonal principal para cada tipo de dimensión (UL, CR, SK).

Como se muestra en la Tabla 9, el valor de AVE en la diagonal principal en todos los casos es superior a 0.5 y es mayor que los coeficientes de correlación mostrados en la matriz de inter-correlaciones. Como informa Zikmund, et al. (2010), una escala no se debe correlacionar demasiado con una medida de un constructo diferente. La regla de oro indica: cuando dos escalas están correlacionadas por encima de 0,75, se puede confirmar la validez discriminante. En la tabla 9 se observa que las diferentes dimensiones presentan una correlación significativa (validez convergente), y demuestran conceptos independientes (validez discriminante).

Tabla 9. Matriz de correlación para escala final

	CR	SK	UL
CR	0,71		
SK	0,402	0,73	
UL	0,612	0,557	0,71

Nota: $p < .01$. Los valores de la diagonal principal correspondientes a la raíz cuadrada de AVE.

Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Evaluación de la fiabilidad cuestionario final después del AFC

Se midieron los puntajes Alfa de Cronbach para los tres factores del AFC del modelo factorial de primer orden (el modelo iterado) y las dimensiones demuestran confiabilidades aceptables como sugiere Nunnally (1978) con puntajes que exceden el requerido $> = 0.70$. Como se observa en la Tabla 10, los resultados para cada Cronbach-Alpha del nivel de dimensiones del CFA de primer orden modelo iterado son aceptables. La Tabla 10 también muestra los índices de confiabilidad por dimensión y por variable si se elimina un ítem de la escala. En todos los casos, la posible eliminación de un ítem disminuye la confiabilidad de la escala.

Tabla 10. Estadística de ítems totales para cada dimensión

Ítems	Promedio si se elimina el elemento	Varianza si se elimina el elemento	Correlación corregido ítem-total	Múltiple correlación al cuadrado	Alfa Cronbach si se elimina el elemento
“UL - Liderazgo del Usuario: Alfa de Cronbach: 0,830					
UL22	10,2309	11,816	0,627	0,411	0,797
UL26	10,5277	11,771	0,622	0,407	0,798
UL28	10,418	11,432	0,644	0,423	0,792
UL29	10,6293	11,879	0,598	0,392	0,805
UL30	10,4896	11,465	0,647	0,446	0,791
“CR -Creatividad /Curiosidad”: Alfa de Cronbach: 0 ,777					
CR7	6,4491	6,008	0,503	0,27	0,761
CR8	6,1921	4,961	0,725	0,617	0,644
CR9	6,1019	5,042	0,642	0,569	0,69
CR19	6,2674	5,914	0,468	0,224	0,78
“SK - Disponibilidad de tiempo y habilidades”: Alfa de Cronbach: 0,766					
SK12	5,1386	4,799	0,633	0,414	0,646
SK13	5,254	4,953	0,628	0,409	0,653
SK27	5,4919	5,297	0,537	0,289	0,753

Fuente: elaboración propia.

4.2.4 Matriz de correlación por dimensión después de AFC

Otra evaluación valiosa al realizar un análisis factorial es observar la matriz de correlación entre los elementos. Según Martínez y Sepúlveda (2012), si existen algunos ítems con baja correlación entre variables, es necesario cuestionar la existencia de esos ítems en la escala. En esta investigación, las Tablas 11, 12 y 13 muestran la matriz de correlación entre ítems. Como resultado, todas las variables tienen valores de correlación de moderados a altos entre sí, porque son superiores a 0,30 (Martínez, and Sepúlveda, 2012).

Tabla 11. Matriz de correlación después de CFA para UL

	UL22	UL26	UL28	UL29	UL30
UL22	1				
UL26	0,528	1			
UL28	0,514	0,549	1		
UL29	0,414	0,436	0,473	1	
UL30	0,521	0,45	0,487	0,572	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 12. Matriz de correlación después de CFA para CR

	CR7	CR8	CR9	CR19
CR7	1			
CR8	0,479	1		
CR9	0,382	0,752	1	
CR19	0,382	0,418	0,371	1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Matriz de correlación después de CFA para SK

	SK12	SK13	SK27
SK12	1		
SK13	0,603	1	
SK27	0,485	0,477	1

Fuente: elaboración propia.

5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1 Escala de medición

Al-Zu'bi y Tsinopoulos (2013) señalan que la identificación de los usuarios innovadores es fundamental para desarrollar, de forma sistemática, caminos para integrarlos en el proceso de desarrollo de nuevos productos que eleven la calidad de los proyectos. La escala de medición propuesta en este estudio ayuda a las empresas en la identificación de usuarios innovadores que aporten en la calidad de los proyectos. Tras un riguroso proceso de validez, doce ítems componen la escala final. Por consiguiente, se obtuvieron tres factores con 12 ítems a partir del

AFC del modelo de ajuste de factores de primer orden y los ítems se evidencian en la figura 1.

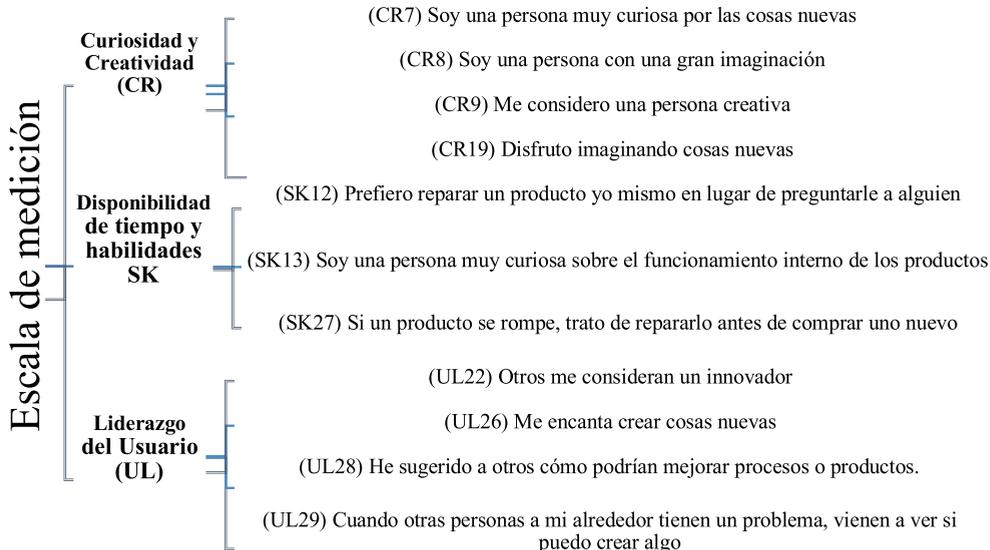


Fig. 1. Instrumento de medición

Fuente: elaboración propia.

Estos resultados están alineados con previos estudios en los que se evidencia la necesidad de identificar usuarios innovadores como fuente de ideas (Ogawa y Pongtanalert, 2011; Mujika-Alberdi, et al., 2013), Pongtanalert y Ogawa, 2015). En este sentido, identificar usuarios innovadores e incorporarlos en el proceso de co-creación de las empresas representa un aporte positivo que contribuye a mejoramiento de la calidad de nuevos proyectos.

5.2 Variables demográficas de los usuarios innovadores

La unidad de análisis son los consumidores individuales mayores de 18 años. Se utilizó el software SPSS 23 para el análisis de los datos. Se construyó y sistematizó una base de datos con toda la información recopilada. De los 433 cuestionarios válidos, 212 (49%) eran hombres y 221 (51%) eran mujeres. Aproximadamente el 13.9% eran adultos menores de 20 años; 50,6% tenían entre 21 y 30 años; aproximadamente el 12,7% tenía entre 31 y 50 años y el 12,2% tenía más de 60 años. En relación con su nivel de educación, más de la mitad de los encuestados

había estudiado la escuela secundaria (64%); 29% tenían estudios universitarios de pregrado y posgrado; aproximadamente el 4% tenía estudios técnicos o tecnológicos; y solo el 2,5% tenía escuela primaria.

Los usuarios innovadores encontrados en la muestra fueron 21 individuos de 433 encuestados. Esto demuestra que los usuarios innovadores representan una pequeña porción de la muestra total encuestada. Hallazgo que está en concordancia con resultados obtenidos en estudios previos llevados a cabo por Ogawa y Pongtanalert, (2011) y Mujika-Alberdi, García & Gibaja (2013).

Después de aplicar Mann-Whitney U Test para determinar si existen diferencias significativas por género, se confirmaron diferencias significativas al reportar 0.03, en las cuales, los hombres presentan una mayor tendencia a innovar que las mujeres. En este sentido, los resultados coinciden con el estudio publicado por Flowers et al. (2010), en el cual se informó sobre algunas de las características de los usuarios innovadores e identificó que los consumidores hombres participan en actividades de innovación de usuarios con el doble de frecuencia que las mujeres. Este hallazgo coincide con estudios previos como Flowers et al. (2010) y Mujika-Alberdi, et al. (2015) en los cuales la tendencia a innovar fue más pronunciada en los hombres que en las mujeres.

Adicionalmente, debido a que los datos no tenían distribución normal, se aplicó Kruskal Wallis Test a toda la muestra y se encontraron diferencias significativas entre los diferentes rangos de edad. Algo a destacar en este análisis de resultados, es que una de las dimensiones de los datos tenía distribución normal. Por esta razón se aplicó un ANOVA a ese factor. Sin embargo, las varianzas no eran iguales y este es un requisito para un análisis posterior al usar la prueba de ANOVA. Aunque vale la pena decir que el ANOVA fue significativo al reportar 0.06 y subgrupos de individuos menores de 60 años con un perfil más innovador que los mayores de 60 años.

Hallazgo similar al encontrado posteriormente por Ogawa & Pongtanalert, (2011), quienes reportaron que, en Estados Unidos, presentan una mayor tendencia a innovar las personas entre 55 a 64 años, ejecutivos y profesionales independientes con título universitario

o superior; mientras que, en Japón, los hombres de 60 a 64 años tienen una mayor tendencia a innovar, con un nivel de educación superior como el doctorado.

En referencia con la variable educación, Flowers et al. (2010) señaló que las personas con el más alto nivel de educación formal tienden a innovar alrededor de dos veces más que aquellos con la educación menos formal. En este estudio, se observa una relación entre educación y perfil innovador. Sin embargo, después de analizar los datos de toda la muestra y de aplicar la prueba Kruskal, no se encontraron diferencias significativas.

5.3 Categorización de los usuarios innovadores

Pongtanalert, K., & Ogawa, S. (2015) propusieron una tipología de usuarios innovadores basada en el factor de divulgación de la innovación y el factor de pertenencia a la comunidad. En ese estudio, los autores clasificaron a los usuarios innovadores en tres tipos de usuarios: innovadores reveladores (usuarios innovadores que comparten sus innovaciones con otros), innovadores sociales (aquellos que tienden a compartir sus innovaciones y pertenecen a comunidades) e innovadores silenciosos (no comparten innovaciones ni pertenecen a las comunidades) (Pongtanalert & Ogawa, 2015 p. 35). Los ítems utilizados en este instrumento para indagar acerca de compartir información sobre la innovación y pertenecer a una comunidad fueron los siguientes:

1. ¿Ha compartido información sobre los detalles de esta innovación con otros consumidores o empresas?
2. ¿Pertenece a un club o comunidad con intereses particulares en el producto que usted creó?

En esta investigación, los autores confirmaron la clasificación de usuarios innovadores reportada por Pongtanalert & Ogawa (2015) e incluyeron una tipología más, los usuarios innovadores silenciosos, pero a la vez sociales. Son aquellos usuarios innovadores que no comparten ni revelan la innovación, pero que sí pertenecen a una comunidad. La tabla 14 muestra la categorización de los usuarios innovadores encontrados en la investigación.

Tabla 14. Usuarios innovadores categorización

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válido	Innovadores reveladores	6	28,6	28,6	28,6
	Innovadores sociales	4	19,0	19,0	47,6
	Innovadores silenciosos	10	47,6	47,6	95,2
	Innovadores silenciosos, pero sociales	1	4,8	4,8	100,0
	Total	21	100,0	100,0	

Fuente: elaboración propia.

Se utilizó Chi cuadrado para realizar el análisis y comparación de las variables categóricas. La tabla 15 muestra en detalle la categorización de los usuarios innovadores cruzado con el factor de compartir información acerca de los detalles de los productos creados. Se aplicó la prueba chi-cuadrado de Pearson y se obtuvo una significancia de 0,00.

Tabla 15. Tabla cruzada de la variable Compartir y Categorización de usuarios

		Categorización de usuarios				Total
		Innovadores reveladores	Innovadores sociales	Innovadores silenciosos	Silenciosos, pero sociales	
Compartir	Sí	6	4	0	0	10
		100,0%	100,0%	0,0%	0,0%	47,6%
	No	0	0	10	1	11
		0,0%	0,0%	100,0%	100,0%	52,4%
Total		6	4	10	1	21
		100,0%	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%

Fuente: elaboración propia.

6. CONCLUSIONES

Esta investigación ofrece un instrumento de medición riguroso y válido para la identificación de usuarios innovadores que aporten a la calidad de los proyectos, así como también describe las características y tipologías de los usuarios innovadores, una línea de investigación

aún poco explorada en Latinoamérica y países emergentes. Se realizó un minucioso proceso de validación de un instrumento de medición y confirmó la existencia de usuarios innovadores en Colombia. La escala también ha sido probada y validada con éxito en una región europea llamada Gipuzkoa y ahora en Bogotá, Colombia. Dada la escasa literatura sobre usuarios innovadores en países emergentes y en Latinoamérica, este estudio presenta un instrumento que contribuye a la identificación de usuarios innovadores que aporten a la calidad de los proyectos.

La escala de medición representa un insumo significativo para los gerentes en la identificación de usuarios innovadores que pueden ayudar en la co-creación, desarrollo de nuevos productos o procesos de desarrollo de nuevos servicios. Proporciona una escala para identificar a los usuarios innovadores que pueden participar en proyectos de desarrollo de nuevos productos o servicios. Debido a su enfoque, simplicidad y practicidad interindustrial, esta escala constituye un valioso instrumento de medición que se puede aplicar a regiones con un nivel de desarrollo variado para identificar usuarios innovadores.

La escala supera un detallado proceso de validez y facilita la correcta identificación de ese tipo de usuarios. Por lo tanto, se alienta a los administradores, la comunidad académica y de investigación a considerar esta escala en futuras investigaciones. La prueba de primer orden implica que se ajustaron doce variables y se representaron en tres constructos: liderazgo del usuario, curiosidad y creatividad, y tiempo y habilidades para desarrollar productos.

El instrumento está de acuerdo con estudios previos y cuenta con soporte teórico. El análisis cuantitativo exhibe altas correlaciones entre esas tres dimensiones. Se realizaron tanto un análisis factorial exploratorio como un análisis factorial confirmatorio. Se confirmó la consistencia interna de la escala, unidimensionalidad, confiabilidad, validez convergente y discriminante. Se realizó un análisis factorial confirmatorio para lograr un modelo válido de buen ajuste para los datos obtenidos.

Este estudio examinó a los usuarios innovadores desde tres dimensiones diferentes; liderazgo del usuario, curiosidad y creatividad

y habilidades para el desarrollo. Debido a su enfoque, simplicidad y practicidad interindustrial, esta escala de mercado cruzado constituye un valioso instrumento de medición que se puede aplicar a regiones con un nivel de desarrollo variado para identificar usuarios innovadores. Por lo que esta investigación puede servir como guía para futuras investigaciones.

Varios estudios han demostrado que los usuarios han pasado de un papel pasivo a uno activo a lo largo de las últimas tres décadas. Los usuarios consumidores juegan un rol importante en el proceso de innovación. Una acertada identificación del perfil de los usuarios innovadores permite a las empresas diseñar estrategias que incorporen este valioso recurso como fuente de ideas e innovación en sus procesos de co-creación, mejoramiento o desarrollo de nuevos productos y así aportar a la calidad de sus proyectos.

Los resultados obtenidos en este estudio son similares a los hallazgos de investigaciones internacionales en el campo de la innovación del usuario. Este estudio proporciona información relacionada con las características de los usuarios innovadores. Esta investigación confirmó diferencias significativas por género y edad, por ejemplo, en Colombia, la tendencia a innovar fue más pronunciada en los hombres que en las mujeres. En relación con la edad, los adultos jóvenes (de 31 a 50 años) y los adultos (de 51 a 60 años) participan significativamente en las actividades de innovación del usuario en comparación con los adultos mayores de 60 años, de modo que los individuos menores de 60 años muestran una mayor tendencia a innovar que las personas mayores de 60 años.

En esta investigación se confirmó la categorización de los usuarios innovadores propuesta por Pongtanalert & Ogawa (2015). Además, se incluyó una nueva categoría: los usuarios innovadores silenciosos, pero a la vez sociales. Aquellos usuarios innovadores que no comparten ni revelan la innovación, pero que pertenecen a una comunidad.

Este estudio abre la puerta a una nueva línea de investigación en Latinoamérica y se invita a la comunidad académica y de investigación que considere este artículo al emprender nuevas investigaciones en el ámbito de la innovación, la identificación de usuarios innovadores que

aporten a la realización de proyectos innovadores. Sería interesante explorar la categorización y características demográficas de los usuarios innovadores en otras comunidades y regiones con similares niveles de desarrollo.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Al Zu'bi, Z. B. M., & Tsinoopoulos, C. (2013). An outsourcing model for lead users: an empirical investigation. *Production Planning & Control*, 24(4-5), 337-346.
- Baldwin, C., Hienert, C., & von Hippel, E. (2006). How user innovations become commercial products: A theoretical investigation and case study. *Research Policy*, 35, 1291-1313.
- Baldwin, C., & von Hippel, E. (2011). Modeling a Paradigm Shift: From Producer Innovation to User and Open Collaborative Innovation. *Organization Science*. <http://doi.org/10.1287/orsc.1100.0618>
- Barrett, P. (2007). Structural equation modelling: Adjudging model fit. *Personality and Individual Differences*, 42(5), 815-824.
- Bentler, P.M. y Bonnet, D.C. (1980). Significance Tests and Goodness of Fit in the Analysis of Covariance Structures. *Psychological Bulletin*, 88 (3), 588-606.
- Bentler, P.M., 1986. Structural modeling and psychometrika: a historical perspective on growth and achievements. *Psychometrika* 51(1),35-51
- Bogers, M., Afuah, A., & Bastian, B. (2010). Users as innovators: A review, critique, and future research directions. *Journal of management*, 36(4), 857-875.
- Churchill Jr., G.A. (1979). A paradigm for developing better measures of marketing constructs. *Journal of Marketing Research* 16,64-73.
- Faullant, R., Schwarz, E. J., Kraiger, I., & Breitenecker, R. J. (2012). Towards a comprehensive understanding of lead userhood: the search for individual creativity. *Creativity and Innovation Management*, 21(1), 76-92.
- Flowers, S., Henwood, F., 2010. Perspectives on User Innovation. Imperial College Press, London.

- Fornell, C., & Larcker, D. F. (1981). Structural equation models with unobservable variables and measurement error: Algebra and statistics.
- Franke, N., von Hippel, E., & Schreier, M. (2006). Finding commercially attractive user innovations: A test of lead user theory. *Journal of Product Innovation Management*, 23, 301–315.
- Gault, F. & von Hippel, E. (2009). The prevalence of user innovation and free innovation transfers: implications for statistical indicators and innovation policy (No. 4722-09). Disponible en: <http://ssrn.com/abstract=1337232>
- Gault, F. (2012). User innovation and the market. *Science and Public Policy*, 39, 118-128
- Garver, M.S., Mentzer, J. T., 1999. Logistics research methods: employing structural equation modeling to test for construct validity. *Journal of Business Logistics* 201, 33–57.
- Gerbing, D.W., Anderson, J.C. (1988). An updated paradigm for scale development incorporating unidimensionality and its assessment. *Journal of Marketing Research* 252,186–192.
- Gemünden, H. G., Lehner, P., & Kock, A. (2018). The project-oriented organization and its contribution to innovation. *International Journal of Project Management*, 36(1), 147-160.
- Globocnik, D., & Faullant, R. (2021). Do lead users cooperate with manufacturers in innovation? Investigating the missing link between lead userness and cooperation initiation with manufacturers. *Technovation*, 100, 102187.
- Gruner, K. E., & Homburg, C. (2000). Does customer interaction enhance new product success? *Journal of business research*, 49(1), 1-14.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2006). *Multivariate data analysis* (Vol. 6). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Herstatt, C. & von Hippel, E. (1992). From Experience: Developing New Product Concepts via the Lead User Method: A Case Study in a “Low Tech” Field. *Journal of Product Innovation Management*, 9(3), 213–21.
- Hienert, C. (2006). The commercialization of user innovations: the development of the rodeo kayak industry. *R&d Management*, 36(3), 273-294.

- Hooper, D., Coughlan, J., & Mullen, M. (2008). *Structural equation modelling: Guidelines for determining model fit*. Articles, 2.
- Hoyer, W. D., Chandy, R., Dorotic, M., Krafft, M., & Singh, S. S. (2010). Consumer cocreation in new product development. *Journal of service research*, 13(3), 283-296.
- International Test Commission. (2017). International Test Commission guidelines for translating and adapting tests. Disponible en https://www.intestcom.org/files/guideline_test_adaptation.pdf
- Koufteros, X.A., 1999. Testing a model of pull production: a paradigm for manufacturing research using structural equation modeling. *Journal of Operations Management* 17,467–488.
- Marsh, H.W., Hocevar, D., 1988. A new, more powerful approach to multi trait multi-method analyses: application of second-order confirmatory factor analysis. *Journal of Applied Psychology* 73,107–117.
- Matthing, J., Sandén, B., Edvardsson, B. (2004). New Service Development: Learning from and with customers. *International Journal of Service Industry Management*, 15 (5), 479 – 498.
- Martínez, C. M., & Sepúlveda, M. A. R. (2012). Introducción al análisis factorial exploratorio. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 41(1), 197-207.
- Moscoso, S. C., Gil, J. A. P., & Rodríguez, R. M. (2000). Validez de constructo: el uso del análisis factorial exploratorio-confirmatorio para obtener evidencias de validez. *Psicothema*, 12(2), 442-446.
- Mujika-Alberdi, A., Gibaja-Martíns, J. J., & García-Arrizabalaga, I. (2015). Who is at the cutting-edge of market trends? Development of a scale for identifying “Lead-users”. *Cuadernos de Economía*, 38(107), 107-122.
- Nunnally, J.L. (1978). *Psychometric theory* NY: McGraw-Hill
- Nunnally JC, Bernstein IH (1994). *Psychometric Theory* (3rd ed.). New York: McGraw-Hill.
- Pallant. J. (2011). *A step by step guide to data analysis using SPSS program survival manual 4th edition*. Allen & Unwin 83 Alexander Street Crow“s Nest NSW 2065 Australia.
- Raasch, C., Herstatt, C., & Lock, P. (2008). The dynamics of user innovation: Drivers and impediments of innovation activities. *International Journal of Innovation Management*, 12, 377-398.

- Ramírez, R. (2018). La investigación científica y tecnológica y la innovación como motores del desarrollo humano, social y económico para América Latina y el Caribe.
- Sánchez, S. J. (2016). Innovación del usuario e identificación de usuarios innovadores. *Cooperativismo & Desarrollo*, 24(108).
- Von Hippel, E. (1988) *The sources of innovation*. New York: Oxford University Press.
- Von Hippel, E. (2009). Democratizing innovation: the evolving phenomenon of user innovation. *International Journal of Innovation Science*, 1(1) 29-40.
- Xie, K., Wu, Y., Xiao, J., & Hu, Q. (2016). Value co-creation between firms and customers: The role of big data-based cooperative assets. *Information & Management*, 53(8), 1034-1048. doi:<http://dx.doi.org/10.1016/j.im.2016.06.003>
- Zikmund, W., Babin, B., Carr, J., & Griffin, M. (2012). *Business research methods*. Cengage Learning.

