UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

Revista Científica

http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/index

CIDC

Artículo de investigación científica y tecnológica

Complejidad en proyectos: generación de un modelo en el sector de la construcción colombiano

Project Complexity: Generation of a Model for the Colombian Construction Sector

Complexidade nos projectos, geração de um modelo no sector da construção colombiano

Jorge-Andrés Sarmiento-Rojas[1]
Carlos-Gabriel Hernández-Carrillo[2]
Fabián-David Güiza-Pinzón[3]

Recibido: febrero de 2023 **Aceptado:** abril de 2023

Para citar este artículo: Sarmiento-Rojas, J. A., Hernández-Carrillo, C. G. y Güiza-Pinzón, F. D. (2023). Complejidad en proyectos: generación de un modelo en el sector de la construcción colombiano. *Revista Científica*, *47*(2), 25-38. https://doi.org/10.14483/23448350.20386

Resumen

La complejidad en la gestión de proyectos es un tema poco comprendido en el sector de la construcción, normalmente asociado al nivel de dificultad. Sin embargo, esto se extiende más allá de esta definición. Pese a que los modelos actuales de complejidad de proyectos en Colombia son adecuados, esta actividad económica tiene características especiales que lo hacen particular y poco explorado. Esto resalta la necesidad formular un modelo de complejidad adaptado al contexto colombiano. Para esto, fue necesario entender y caracterizar el sector, junto con la proposición de un marco referencial que aborde la complejidad en los proyectos de construcción colombianos a partir de sus características empresariales. Esto, con el fin de comprender la complejidad del sector de la construcción y ofrecer oportunidades para mejorar la gestión de los proyectos, el éxito de estos y la permanecía empresarial.

Palabras clave: complejidad; construcción; gerencia de proyectos.

Abstract

Complexity in project management is a scarcely understood topic in the construction sector, which is only associated with difficulty. However, this extends beyond this definition. Despite the fact that current project complexity models in Colombia are adequate, this economic activity has special characteristics that make it particular and little explored. This highlights the need for formulating a complexity model adapted to the Colombian context. To this effect, it was necessary to understand and characterize the sector, along with the proposal of a reference

1. Ph. D. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). jorge.sarmiento02@uptc.edu.co.
2. M. Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). carlosgabriel.hernandez@uptc.edu.co.
3. M. Sc. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (Tunja-Boyacá, Colombia). fabian.guiza@uptc.edu.co.

framework that addresses complexity in Colombian construction projects based on their business characteristics. This, aiming to understand the complexity of the construction sector and offer opportunities to improve project management and success, as well as business permanence.
Keywords: complexity; construction; project management.

Resumo
A complexidade no gerenciamento de projetos é um tópico pouco compreendido na indústria da construção, geralmente associado com o nível de dificuldade. Entretanto, isto se estende além desta definição. Embora os modelos atuais de complexidade de projetos na Colômbia sejam adequados, esta atividade econômica tem características especiais que a tornam particular e pouco explorada. Isto destaca a necessidade de formular um modelo de complexidade adaptado ao contexto colombiano. Para isso, foi necessário compreender e caracterizar o setor, juntamente com a proposta de um marco referencial que aborda a complexidade dos projetos de construção colombianos com base em suas características comerciais. Isto, a fim de compreender a complexidade do setor de construção e oferecer oportunidades para melhorar a gestão do projeto, o sucesso do projeto e a sustentabilidade do negócio.
Palavras-chaves: complexidade; construção; gestão de projetos.

INTRODUCCIÓN

La construcción desempeña un papel fundamental en la economía de la gran mayoría de naciones debido a su efecto dinamizador en la extracción de recursos naturales, su transformación en procesos de manufactura y la creación de puestos intensivos de trabajo (Hernández-Carrillo *et al.*, 2021; Sarmiento-Rojas *et al.*, 2020). Además, las presentes realidades económicas y sociales constituyen una gran cantidad de correlaciones complejas y cambiantes. Sin embargo, estas actividades caracterizan el empleo de obras civiles y se relacionan con las labores de los clientes de una forma única. Lo anterior provee el argumento para una división del sector de la construcción (Sarmiento-Rojas *et al.*, 2022).

Por consiguiente, la complejidad es un tema muy amplio que puede relacionarse con una gran cantidad de información, debido a los cambios generados por el desarrollo tecnológico y la innovación dentro de los componentes integradores y objetivos de un proyecto, con el fin de atender el aumento de los diversos requerimientos de los interesados (Xia and Chan, 2012). En este sentido, la complejidad define generalmente un sistema complejo dentro de un área específica de interés y estudia la interacción entre los elementos del sistema. En consecuencia, no existe una definición clara y comúnmente aceptada o unificada de complejidad, pese al gran número de definiciones propuestas (Chu *et al.*, 2003; Dao *et al.*, 2016a, b; Kermanshachi *et al.*, 2020; Wood y Gidado, 2008; Xia y Chan, 2012).

En el sector de la construcción, esto no es la excepción. No obstante, el entendimiento de la complejidad y la formulación de modelos basados en la gerencia de proyectos en este ámbito se considera una de las características críticas y poco conocidas que determinan las medidas apropiadas para la consecución satisfactoria de los resultados esperados, pues se reconoce ampliamente que la complejidad de los proyectos influye en el rendimiento y éxito de los mismos. Lo cual ha generado un consenso general en la definición de proyectos de construcción como *complejos*, producto de la interacción entre diversos factores con propiedades dinámicas e inciertas (Luo *et al.*, 2016; Trinh y Feng, 2020).

Igualmente, la complejidad en proyectos es un tema poco abordado en el afluente colombiano, y en menor proporción en el contexto de del sector de la construcción. Asimismo, en el país, la gerencia de

proyectos de construcción se caracteriza por pocas o escasas prácticas estandarizadas de gerencia de proyectos que surgen mayoritariamente del empirismo (Sarmiento-Rojas y Rueda-Barón, 2020).

La complejidad en proyectos no tiene una definición única ni especifica; esta puede ser la constitución de las diversas funciones de los participantes del proyecto, las dependencias entre sistemas y subsistemas, o el impacto de las decisiones en el campo (San Cristóbal *et al.*, 2018). También puede entenderse como las diferenciaciones, interconexiones e interdependencias que interactúan en un proyecto. Girmscheid y Brockmann (2008) definen la complejidad del proyecto como un conjunto de problemas que consta de muchas partes, con una multitud de posibles interrelaciones, la mayoría de ellas de gran importancia en el proceso de toma de decisiones que produce el resultado final. Gidado (2010) determina cuatro fuentes diferentes de complejidad: recursos empleados, entorno, nivel de conocimiento científico y tecnológico requerido y número de partes diferentes en el flujo de trabajo. Asimismo, Zolin *et al.* (2009) agrupan una serie de factores que parecen contribuir a la percepción de la complejidad del proyecto bajo los siguientes encabezados: objetivos, partes interesadas, interfaces e interdependencias, tecnología, proceso de gestión, prácticas de trabajo y tiempo. Estos concuerdan con elementos encontrados en la caracterización del sector como los más relevantes en relación con la permanencia empresarial, lo cual ilustra los elementos que, a nivel de proyectos de construcción, deberían ser tenidos en cuenta para poder generar un modelo de complejidad adaptado y pertinente al contexto colombiano.

En este sentido, mediante las caracterizaciones del sector con modelos de complejidad en proyectos, fue posible identificar que las actuales herramientas para comprender la complejidad poco inciden en los proyectos de construcción en Colombia, ya que, según su alcances, la mayoría son clasificados como proyectos de baja complejidad bajo los estándares tradicionales (PMI, 2014). Sin embargo, estos resultados no son acordes a las nuevas realidades del contexto colombiano, debido a la gran cantidad de elementos independientes que interactúan entre sí, dentro de unas políticas públicas que tienden a la generación de grandes proyectos en diferentes formas, reorganizados espontáneamente en estructuras cada vez más elaboradas a lo largo del tiempo e influenciados por fuentes de complejidad cada vez mayores (Bakhshi *et al.*, 2016; Kermanshachi *et al.*, 2020; Peñaloza *et al.*, 2020). Por lo anterior, surge la necesidad de gestionar modelos de complejidad adaptados al entorno colombiano y la proposición de mejores métricas que estimen la complejidad de estos para mejores implementaciones gerenciales a futuro.

METODOLOGÍA

Mediante la descripción de características del entorno colombiano, junto con el análisis del comportamiento empresarial en el sector de la construcción, se ilustran los planteamientos que soportan la formulación de un modelo, alrededor del cual se pretende identificar el tipo de complejidad según características relevantes en las organizaciones y el entorno del sector de la construcción. Lo anterior fue llevado a cabo a través de bases de datos y herramientas cuantitativas y cualitativas para puntualizar en los factores inmersos en el sector de la construcción. Esto, con el propósito de analizar y seleccionar los factores con mayor incidencia en las organizaciones, en contextos relacionados con elementos complejos en los proyectos. La Figura 1 ilustra el proceso metodológico formulado.

Evaluación de características de empresas de la construcción en Colombia

Con el fin de establecer las características empresariales, se utilizó la base de datos unificada de las empresas legalmente construidas hasta 2022, correspondiente al censo empresarial realizado por las cámaras de

comercio departamentales en Colombia. Posteriormente, mediante evaluaciones numéricas multivariadas por análisis de componentes principales (PCA), se definieron las similitudes de características empresariales y su ubicación geográfica, con el fin de establecer representatividad y validar el modelo formulado.

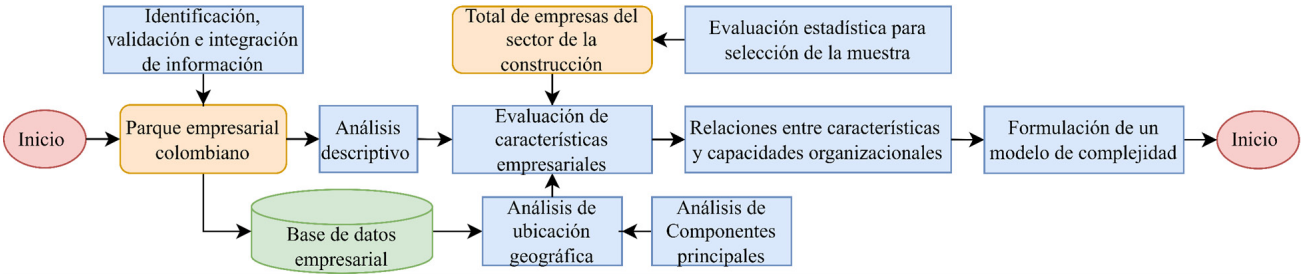

Figura 1. *Proceso metodológico*

Identificaciones de características organizacionales sobre la complejidad en proyectos

Para la identificación factores alrededor de la complejidad en proyectos de construcción, se evaluaron referentes teóricos que han caracterizado los factores que inciden en el éxito de dichos proyectos. Posteriormente, se relacionaron las características inherentes a la complejidad en proyectos de construcción, las cuales fueron previamente organizadas y sistematizadas mediante fuentes secundarias de información. Luego, se formularon análisis empíricos y se involucraron los tratamientos estadísticos descriptivos e inferenciales de los datos para la creación de un modelo que integrara la caracterización del sector de la construcción y el efecto en los procesos al interior de las organizaciones, con el fin de sustentar las hipótesis formuladas y las limitaciones planteadas en el modelo de complejidad.

RESULTADOS

Características empresariales en la geografía colombiana

Al correlacionar las características empresariales por ubicación geográfica (departamentos) mediante un sistema de coordenadas formulados por el PCA, se expresa que la dimensión 1 tiene un porcentaje relativo del 98 % y la dimensión 2 del 1.32 %. Por lo tanto, la primera dimensión concentra la varianza de las características empresariales evaluadas. Asimismo, al realizar las agrupaciones o clústeres por departamento, se generó el circulo de correlación mostrado en la Figura 2.

La Figura 2 ilustra las similitudes de las características empresariales entre departamentos. Esto permite afirmar la alta similitud entre empresas, indistintamente del lugar geográfico. Dicha evaluación posibilita la formulación de características empresariales en el territorio colombiano, producto de la evaluación, realización de inferencias y generalización de comportamientos representativos del total de la población (Bhalerao y Kadam, 2010). Por ende, los sesgos podrían reducirse, al considerar factores que permitan generalizar comportamientos en la muestra aleatoria seleccionada, según los objetivos planteados y los modelos estadísticos utilizados en el análisis de datos. Igualmente, sería posible reducir la exposición al riesgo de intervención y generar un gasto innecesario de recursos físicos y económicos (Bhalerao y Kadam, 2010; Gill y Johnson, 2010; Morales-Vallejo, 2008).

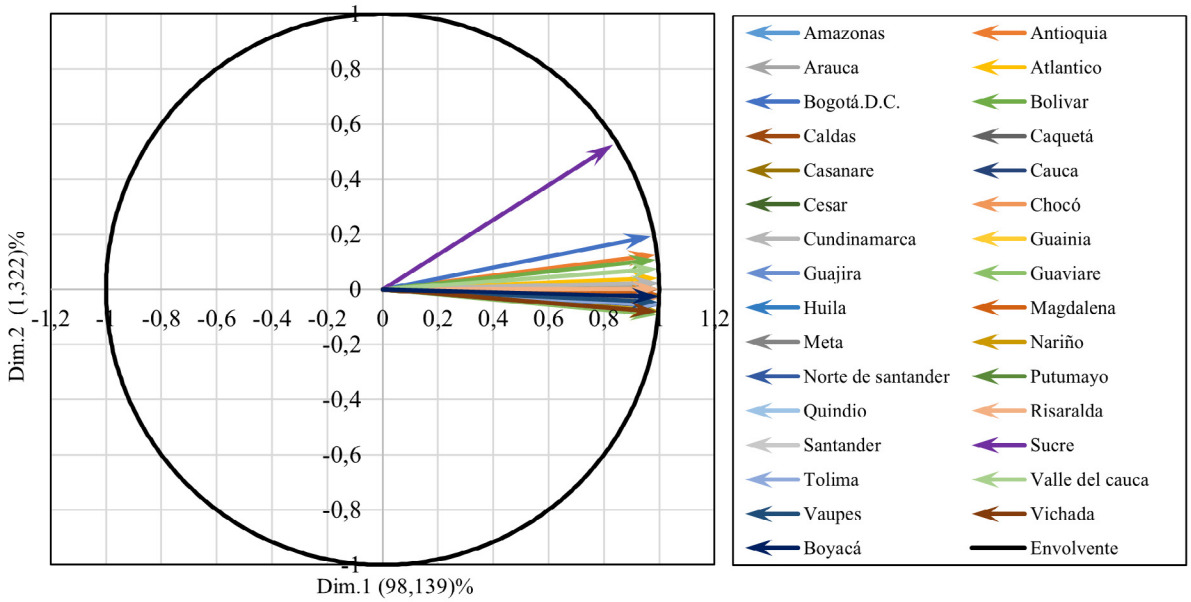

Figura 2. *Círculo de correlación de comportamientos por zona geográfica*

Características del sector de construcción

Se identificó que el sector de la construcción en Colombia se compone en un 96 % por micro- y pequeñas empresas, lo cual es coherente con lo definido por Franco-Ángel y Urbano (2019). Del porcentaje restante, el 0.3 % corresponde a las grandes empresas, según la clasificación empresarial en Colombia (Ministerio de Comercio Industria y Turismo, 2019).

Por consiguiente, el grupo de micro- y pequeñas empresas representa mayoritariamente el comportamiento organizacional de la construcción, y estas se caracterizan por una estructura simple que facilita una rápida respuesta y adaptación. Por esto, la capacidad de estas empresas se enfoca en proyectos pequeños de poca complejidad. No obstante, estas empresas dependen del comportamiento del mercado colombiano. Esta susceptibilidad condiciona a las empresas a variaciones económicas, ya que este tipo de empresas se caracteriza por limitantes de recursos propios, poco acceso a fuentes de financiación, mínimos aprovechamientos en las economías de escala y escaso acceso a variedad de recursos (Franco-Ángel y Urbano, 2019; Sarmiento-Rojas *et al.*, 2022).

Lo anterior refleja las limitantes del parque empresarial de la construcción, el cual se relaciona implícitamente con los activos de la organización, el desempeño o valor en el mercado y la formulación de proyectos complejos (Martínez-Trigo, 2009). Por ende, los riesgos asociados a garantizar la solvencia, la estabilidad, la permanencia y la viabilidad de las empresas en el desarrollo de proyectos de las micro- y pequeñas empresas son altos. Así, las principales auspiciadoras de proyectos complejos, tales como las entidades financieras o públicas, limitan su participación debido a sus bajas capacidades para soportar la formulación y desarrollo de proyectos complejos (Hernández-Carrillo *et al.*, 2023).

Además de establecer el tamaño empresarial, la cantidad de activos muestra la inversión que una empresa puede ofrecer para su desarrollo y permanencia (Shi, 2015). En este sentido, la Figura 3 ilustra la distribución de frecuencias de activos y la aplicación del principio de Pareto para identificar el efecto que el 20 % de estas organizaciones representa producto de sus activos.

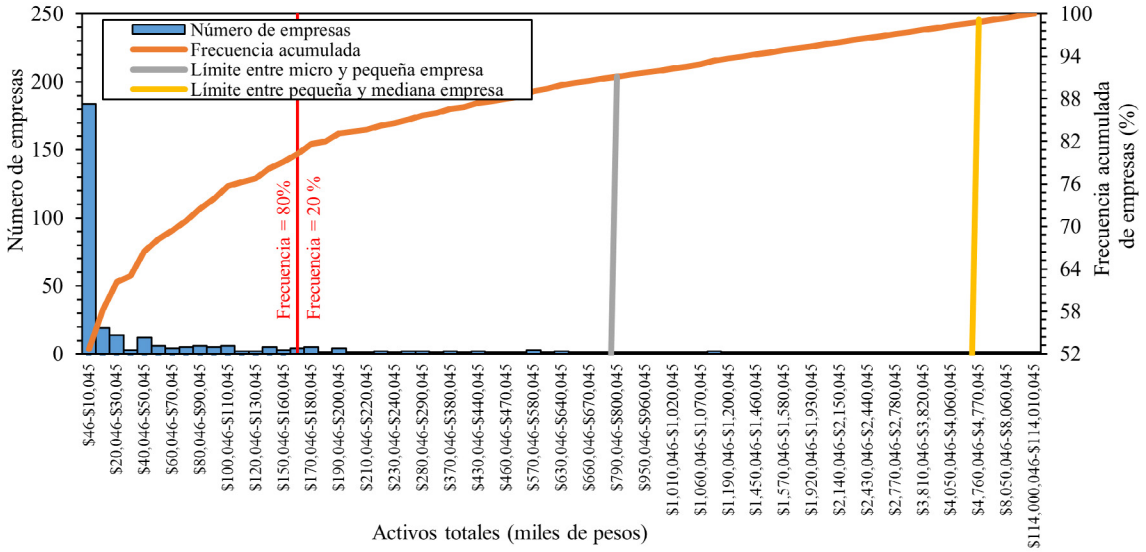

Figura 3. *Regla de Pareto aplicada a los activos de las organizaciones del sector de la construcción*

La Figura 3 establece la capacidad de influencia de la mayoría de las empresas del sector de la construcción. Se identifica que aproximadamente un 80 % de estas tienen activos menores a \$160 x10^6 pesos (microempresas). La cantidad de activos identificados en las pequeñas y medianas empresas se encuentra en el rango de activos aproximado de \$790 x10^6 - \$4700 x10^6 pesos, con una frecuencia acumulada entre el 91.1 y el 99.1 % (8 %) y una gran empresa ubicada entre el 99.8 y el 100 % (0,2 %) de frecuencia. Mediante la regla de Pareto, se infiere que el bajo impacto que muestra la mayoría de las empresas del sector de la construcción se relaciona con las capacidades de las microempresas, especialmente en la generación de empleo (Figura 4).

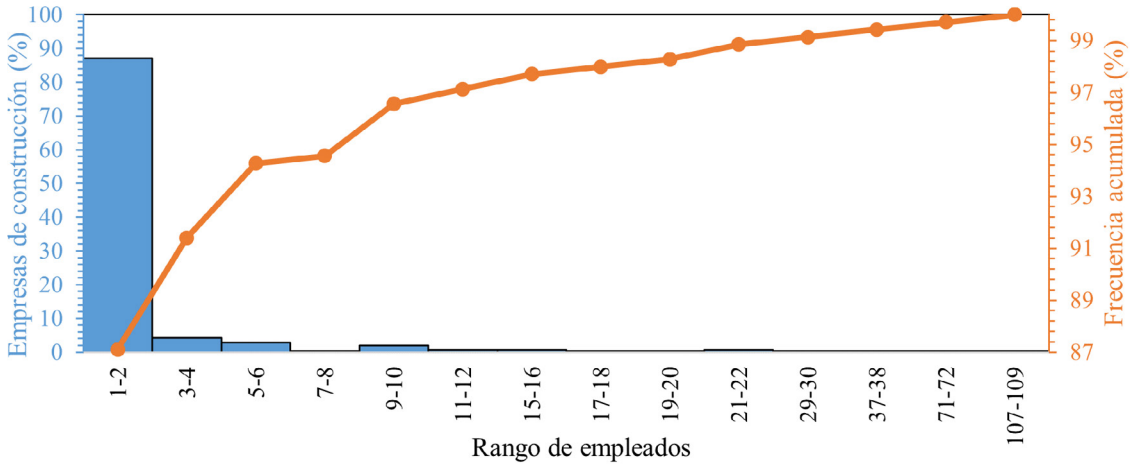

Figura 4. *Rango de frecuencia según el número de empleados por empresa*

La Figura 4 refleja que una pequeña cantidad de empresas genera la mayor cantidad de empleo, ya que el 87.1 % de estas tiene hasta dos personas, y el rango de frecuencias acumuladas menores al 90 % emplea hasta 4 personas aproximadamente. Lo anterior es coherente con lo establecido por Franco-Ángel (2019) sobre las limitantes de las microempresas, que tienen una reducida participación del empleo formal.

Formulación de factores de éxito relacionados con la formulación de proceso alrededor de proyectos complejos

Como parte de los elementos presentes en la complejidad, el éxito en proyectos puede abordar diversas dimensiones y definiciones. Estas pueden variar desde la percepción de los interesados, las utilidades financieras o el rendimiento de las líneas base del proyecto. Cada una variará de acuerdo con los intereses y percepciones propios de los gerentes de los proyectos, organizaciones, autores e interesados. Bajo lo anterior, Jugdev y Müller (2005) agrupan 4 grandes periodos, formulados en la Tabla 1.

Tabla 1. *Caracterización del concepto éxito*

Periodos de agrupación	Caracterización del éxito	Definición sobre la caracterización del éxito
Periodo 1 (1960-1980)	Implementación de proyectos y entrega	Las métricas como tiempo, costo y especificaciones eran prevalentes para la medición de éxito de los proyectos. El contacto con el cliente era mínimo. La literatura y práctica de este periodo de tiempo predominantemente soportaba esta triada como fundamento de la gerencia de proyectos.
Periodo 2 (1980-1990)	Generación de listas de Factores Críticos de Éxito (CSF)	Se identificaban y creaban listas de factores como fuente para estimar el éxito de los proyectos. Sin embargo, estos factores no eran estandarizados agrupados o conceptualizados, por lo cual variaban según el escenario del proyecto.
Periodo 3 (1990-2000)	Marcos de referencia de Factores Críticos de Éxito (CSF)	En este periodo surgen los marcos de referencia en relación con el éxito de los proyectos. Para después de este periodo, la mayoría de las publicaciones tomaron el concepto de que el éxito era una dependencia con los interesados.
Periodo 4 (Siglo XXI)	Gerencia estratégica de proyectos	Se resaltan 4 condiciones para el éxito de los proyectos: 1) acuerdo de los criterios de éxito con los interesados; 2) relaciones de trabajo colaborativo; 3) empoderamiento con flexibilidad por el gerente de proyecto; 4) interés en el desempeño del proyecto por el patrocinador como requisito.

Una recopilación, constituida por definiciones de éxito en proyectos en los últimos 40 años y caracterizada en esta investigación, identificó que las definiciones de éxito en la gerencia de proyectos radican principalmente en tres grandes dimensiones, como se define en Sarmiento-Rojas *et al.* (2022) y se ilustra en la Figura 5.

Bajo este precepto, el éxito tangible del proyecto generalmente está materializado en los beneficios financieros responsables de su realización, respaldándose por resultados fiables y la generación de valor y beneficio que variará en relación con cada proyecto (Dziekoński, 2017). Además, se identifican variables y restricciones organizacionales junto con la relación de planificación, la financiación, el elemento humano en la producción y la investigación en ingeniería, que incluye la evaluación del entorno mediante técnicas externas y de comportamiento para lograr objetivos predeterminados (ASCE, 2008).

En estas decisiones y preceptos alrededor del éxito condensado en factores, no se evidencian mecanismos para identificar la complejidad; en las pesquisas elaboradas en el proceso de caracterización, esta suele ser banalmente relacionada con el nivel de dificultad del proyecto, sobreestimando así su verdadero significado e influencia en los proyectos (Kermanshachi *et al.*, 2020). La complejidad puede llegar a incidir en elementos como la gerencia, la planificación y el control de proyectos. Además, dificulta la plena identificación de los objetivos y metas, así como la selección del personal idóneo y la selección de las técnicas de gerencia de proyectos más apropiada según la línea base del mismo (San Cristóbal *et al.*, 2018).

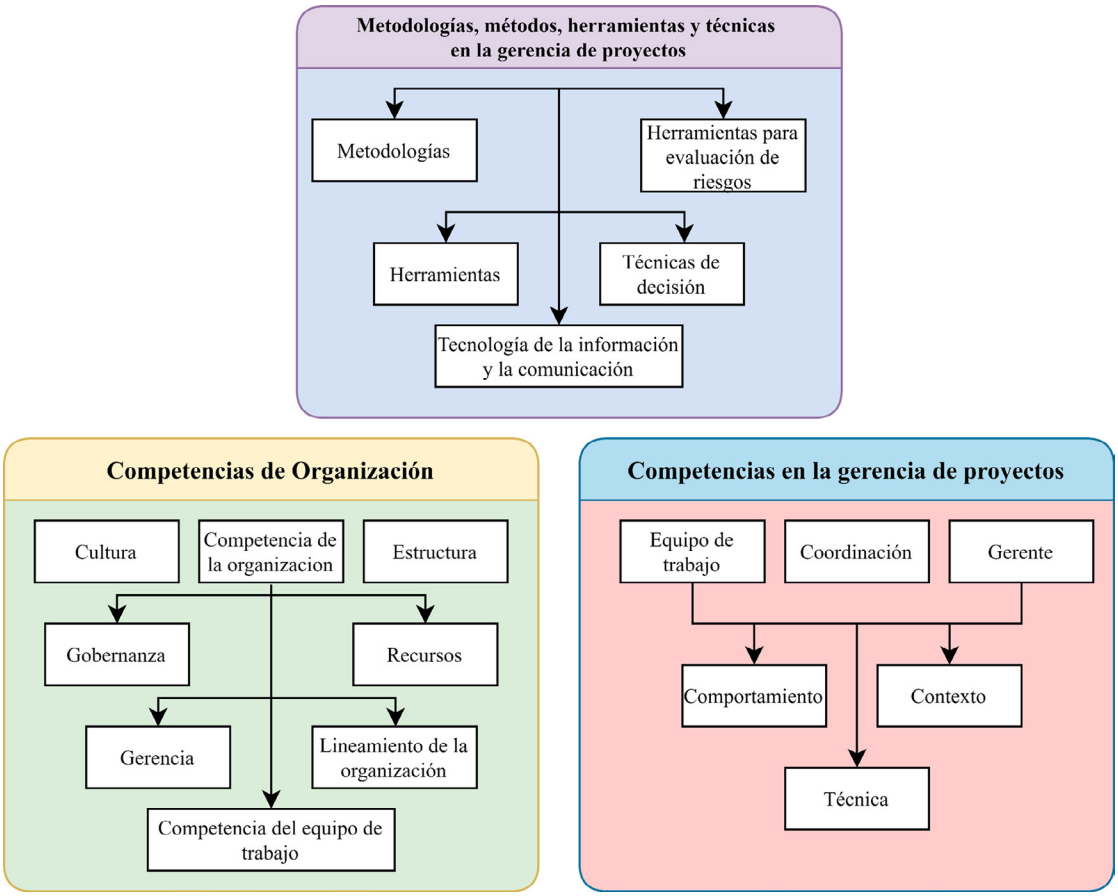

Figura 5. *Factores de éxito de la gestión de proyectos*

Por consiguiente, entender la complejidad más allá de los posibles beneficios redunda en las facilidades generadas, que contrarrestan las desventajas sobre las características organizacionales (micro- y pequeñas empresas), ya que el sistema conforma estructuralmente el soporte del proyecto y las organizaciones, junto con la maximización de las bondades de estos conocimientos, al aplicarlos a través de la innovación y la formulación de sistemas adaptables (San Cristóbal *et al.*, 2018).

DISCUSIÓN

Panorama empresarial del sector de la construcción y sus limitantes

De acuerdo con la caracterización del sector de la construcción, el tamaño empresarial está relacionado con las habilidades y capacidades empresariales, ya que una mayor cantidad de empleados soporta y consolida una estructura organizacional capaz de responder a múltiples procesos y la interacción entre diversos factores con dinámicas propias e inciertas (Luo *et al.*, 2016; Trinh y Feng, 2020). Contrariamente, una limitada estructura organizacional se relaciona con un reducido personal, junto con sus limitantes en el crecimiento sostenido, la reducción de su potencial competitivo y la propensión a los cambios del mercado o factores externos (Frohmann *et al.*, 2018; Segarra y Callejón, 2002).

Por lo anterior, la tendencia del parque empresarial de la construcción en Colombia es conducida por las micro- y pequeñas empresas, junto con sus limitaciones intrínsecas en la capacidad de formular proyectos de alta complejidad y la correlación entre una baja contribución a la producción y una propensión a políticas y fenómenos externos adversos. Por lo tanto, la mayoría de empresas no tiene las suficientes capacidades organizacionales para permanecer en el mercado (Sarmiento-Rojas *et al.*, 2022).

Es por esto que las organizaciones deben conformar una estructura que permita integrar estándares de gerencia de proyectos. Esto se desglosa en la planificación, la organización, la supervisión y el control de todos los aspectos de los mismos para lograr los objetivos planteados de manera segura, dentro de un cronograma de actividades y un presupuesto establecido con los criterios de ejecución acordados (International Project Management Association, 2015; Radujković y Sjekavica, 2017).

Además, es característico que, en la mayoría de micro- y pequeñas empresas, se cuente con una baja cualificación en la ocupación laboral y una débil implementación de herramientas de gerencia, lo que limita las capacidades internas para la participación en economías de escala, relacionadas con la formulación de proyectos complejos y recursos provenientes de procesos de participación en la contratación pública, lo cual es coherente con las reducidas capacidades en la generación de utilidades operacionales (Franco-Ángel y Urbano, 2019; Hernández-Carrillo *et al.*, 2023; Sarmiento-Rojas *et al.*, 2022).

Las características empresariales y su relación con la formulación y procesos en proyectos complejos

La relación con el tamaño empresarial, debido a que el mercado está en función de los bienes y servicios de los que las empresas disponen, condiciona la estructura institucional y económica. Este panorama es desfavorable, ya que manifiesta el reducido potencial competitivo en los mercados, lo cual genera una exposición a políticas económicas y fenómenos externos. Esto, debido a los pocos avances en procesos tecnológicos y de innovación. No obstante, las grandes empresas contribuyen con el 70 % del empleo formal y aportan más del 70 % al PIB de la producción de cada actividad económica evaluada (Correa *et al.*, 2018).

En este escenario, es relevante fortalecer las capacidades empresariales, al identificar y comprender los elementos ambientales externos y factores internos que inciden en la permanencia organizacional, pues esto permite valorar las capacidades de la organización para proyectar ganancias y reducir riesgos en la participación y adjudicación de proyectos complejos, característicos de la obra pública (República de Colombia, 2014). Por consiguiente, identificar y formular modelos en el entendimiento de la complejidad en proyectos permite el tránsito de micro- y pequeñas empresas a medianas y grandes. Esto impacta en otros elementos, como la generación de empleo, la permanencia y la consolidación de procesos que permiten manejar complejamente aquellos elementos que no se vislumbran y están directamente involucrados con el éxito operacional.

Formulación de un modelo a partir de las características empresariales, los proyectos de construcción y el enfoque de complejidad

La formulación de un modelo integrador de las características empresariales, el entorno y la complejidad inherentes a proyectos de construcción involucra la interconexión de sistemas, subsistemas y elementos vinculados al proceso constructivo. Por ende, los elementos ambientales, junto con los factores internos de permanencia establecidos por Sarmiento-Rojas *et al.* (2022), permiten formular y relacionar procesos característicos en los interesados, el cronograma, el entorno, la organización, el uso de tecnologías, las políticas y las regulaciones (Figura 6).

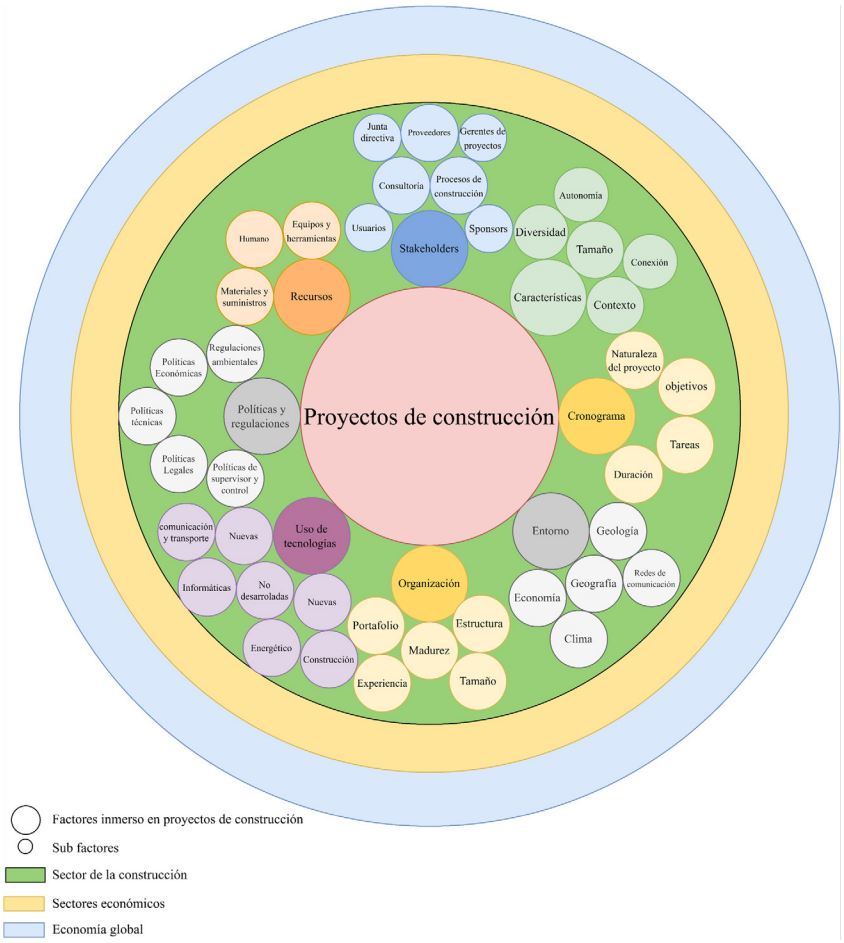

Figura 6. *Modelo formulado sobre los factores complejos en el éxito de proyectos de construcción*

Estos factores son interdependientes y dinámicos, ya que su influencia en la complejidad de los proyectos de construcción ha sido verificada previamente, al identificar fuentes de complejidad cada vez mayores, tales como el creciente número de miembros de la cadena de suministro, las nuevas alternativas tecnológicas que implican producción fuera de las instalaciones, el creciente número de reglamentos y los enfoques innovadores de adquisición (Bakhshi *et al.*, 2016; Kermanshachi *et al.*, 2020; Peñaloza *et al.*, 2020).

Asimismo, en el modelo formulado se involucran los elementos que más inciden dentro del éxito y los fracasos, según la influencia de los factores ambientales y económicos que lo rodean e influyen en el llamado *triángulo de hierro* (cronograma, costos y alcance). Algunos de estos factores inciden de forma externa, como la gestión de adquisiciones sobre los contratistas y el personal externo al proyecto, el grupo de trabajo encargado en la planeación y los procesos constructivos. Igualmente, la incidencia de los retrasos en la emisión de permisos y aprobaciones normativas y órganos de control, junto con fenómenos macroeconómicos como la inflación, los cambios de producción y demás son incluidos en el modelo.

Otro elemento integrado es la frecuencia y rangos de los cambios en los procesos constructivos, ya que este elemento es el que más influencia tiene en la línea base de costo, lo cual se expresa en sobrecostos, y se interconecta con los elementos mencionados anteriormente para influir drásticamente en los proyectos.

Esto, debido a que estos tienen afectaciones en un rango entre el 21 y 55 % de las estimaciones iniciales, incidiendo paralelamente en las demás líneas base (Sarmiento-Rojas, 2022). Un elemento destacable, innovador y vinculador dentro del modelo a proponer está relacionado con la experticia en gerencia de proyectos, ya que la ausencia de conocimientos técnicos y de mejores prácticas incrementa las posibilidades de fracaso. Es de resaltar que algunos de estos elementos que compondrían el presente modelo están vinculados a aquellos que la literatura ha ilustrado como complejos.

Tabla 2. *Modelo adaptado de complejidad en proyectos de construcción*

Complejidad	Baja	Media	Crítica
Cronograma	Variaciones ≤ 2 semanas	Variaciones >3 semanas	Variaciones > 5 semanas
Contratistas	≤ 2 Contratistas dependientes	>3 Contratistas dependientes	> 5 Contratistas dependientes
Personal	>10 Personal interno	>4 Personal interno	≤ 2 Personal interno
Personal	≤ 2 Personal externo contratación OPS	>4 Personal externo contratación OPS	>10 Personal externo contratación OPS
Personal con conocimientos PM	Personal interno	Personal externo	Sin personal
Procesos de licencias	Baja duración, procesos de fácil desarrollo ante diversas instituciones	Media duración, procesos relativamente variados ante diversas instituciones	Alta duración, procesos variados ante diversas instituciones
Precios materiales	Compra por lotes, separación de insumos	Compra proyectada y negociada a precios estándar	Compra al detal factible a oferta y demanda
Capacidad de financiar el proyecto	Independiente de anticipos	Parcialmente dependiente de anticipos	Totalmente dependiente de anticipos
Susceptibilidad a cambios	Reducidos, más relacionados con algunos incrementos de alcance, con baja frecuencia	Variables a incrementos de alcance o frecuencia de cambios, con entregas bajas	Alta frecuencia de cambios con entregas habituales
Tipo de empresa	Mediana y grande	Pequeña	Micro
Número de proyectos ejecutados al mismo tiempo	≤1	=> 2	>3
Capacidades para gerenciar el proyecto	Capacidades técnicas, económicas y logísticas	Capacidades técnicas	Principalmente carentes
Carga tributaria	Alta, pocas deducciones y bajas retenciones limitadas o que afectan capacidad financiera actual	Manejable, deducciones y retenciones accesibles con capacidad financiera	Tolerable, deducciones y retenciones manejables con capacidad financiera
Localización	Ubicación cercana a casco urbano o a la empresa ejecutante	Ubicación intermedia entre cascos urbanos con facilidad de acceso	Ubicación alejada de cascos urbanos y con dificultad de acceso
Mecanismos de medición evaluación proyectos	Existen, parametrizados y vinculados a procesos y procedimientos de la organización	Autónomos al gerente de proyectos; no existen procesos o procedimientos estándar en la organización	Escasos o nulos al gerente de proyectos; no existen procesos o procedimientos estándar en la organización
Tipo de proyectos	Menor cuantía	Relativa cuantía	Mayor cuantía

El modelo puede utilizarse en una escala semáforo, donde los valores críticos se resaltarán en rojo, los medios en amarillo y los de baja complejidad en azul. Este diagnóstico de complejidad debe derivarse del proceso reflexivo de las organizaciones, integrando madurez y condiciones reales. Al finalizar el uso del modelo, este definirá la complejidad del proyecto, con el fin de iniciar un proceso proactivo de mejora y retrospectiva, analizando los elementos críticos preponderantes y estableciendo estrategias preventivas y correctivas a futuro.

CONCLUSIONES

Una mayor comprensión de la estructura y el comportamiento empresarial del sector de la construcción en Colombia permite formular medidas para el beneficio organizacional. Esto, mediante la identificación de características que influyen en su desempeño, junto con la exposición de limitaciones y la formulación de técnicas que puntualizan y facilitan la adopción de mecanismos que permitan la permanencia empresarial, además de la formulación de futuras políticas públicas que puedan generar beneficios según las tendencias nacionales y mundiales.

Igualmente, una mayor comprensión del sector y las dinámicas gerenciales en proyectos de construcción permite generar una visión más allá de un conjunto de procesos que requieren unos esfuerzos específicos en una secuenciación de actividades y/o en su monitoreo y control, junto con la identificación de las correlaciones entre factores en las complejidades que definen dichos proyectos. Esto, en subsistemas que limitan y definen el fomento del éxito.

Identificar y analizar las características que exhiben estos factores, plasmados en el modelo junto con el entorno económico del sector, constituye una herramienta que define actividades prioritarias, ya que la correlación de variables del entorno y los elementos internos, integrados con el marco de gerencia de proyectos, inciden en el éxito de proyectos y agregan un mayor valor a la organización. Por esto, encaminar esfuerzos a estudiar constantemente los elementos que constituyen interna y externamente la formulación de proyectos de construcción, los cuales son inherentemente complejos, permite facilitar la adopción de estrategias especificas por parte las empresas del sector, en aras de tener una visión holística y estratégica de su labor.

Por consiguiente, abordar y formular modelos de complejidad en proyectos de construcción, incluyendo las características de sus empresas, es una temática relativamente nueva que incide en los modelos tradicionales existentes sobre complejidad, pues estos son ajenos a las dinámicas nacionales. Esto se debe a que el contexto colombiano posee unas particularidades y dinámicas que requieren caracterizaciones y adaptaciones como la presentada en esta investigación. Lo anterior permite al sector y las empresas de construcción un autodiagnóstico y una mayor comprensión de los elementos complejos relevantes que inciden en sus procesos, lo cual posibilitaría sortear los actuales ambientes complejos proactivamente, así como la culminación exitosa de los proyectos.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de investigadores, al sector de la construcción en general, a las organizaciones gubernamentales y no gubernamentales, a las diversas empresas de construcción de Boyacá, a sus gerentes y los encargados de proyectos que participaron de la muestra, a las universidades EAN y UPTC.

CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Jorge-Andrés Sarmiento-Rojas: Conceptualización, Investigación, Redacción – revisión y edición.
Carlos Gabriel Hernández-Carrillo: Investigación, Redacción – borrador original.
Fabián-David Güiza-Pinzón: Conceptualización, Investigación, Metodología, Redacción – borrador original.

REFERENCIAS

American Society of Civil Engineers (ASCE). (2008). *Civil engineering body of knowledge for the 21st century preparing the civil engineer for the future* (2nd ed.). American Society of Civil Engineers

Bakhshi, J., Ireland, V., Gorod, A. (2016). Clarifying the project complexity construct: Past, present and future. *International Journal of Project Management*, *34*(7), 1199-1213. https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2016.06.002

Bhalerao, S., Kadam, P. (2010). Sample size calculation. *International Journal of Ayurveda Research*, *1*(1), e55. https://doi.org/10.4103/0974-7788.59946

Chu, D., Strand, R., Fjelland, R. (2003). Theories of complexity: Common denominators of complex systems. *Complexity*, *8*(3), 19-30. https://doi.org/10.1002/cplx.10059

Correa, F., Dini, M., Stumpo, G. (2018). El rol de las mipymes y las políticas de fomento: algunas conclusiones. En *Mipymes en América Latina: un frágil desempeño y nuevos desafíos*. (pp. 1-12). Organización de las Naciones Unidas

Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., Anderson, S., Hare, E. (2016a). Exploring and Assessing Project Complexity. *Journal of Construction Engineering and Management*, *143*(5), e0001275. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001275

Dao, B., Kermanshachi, S., Shane, J., Anderson, S., Hare, E. (2016b). Identifying and measuring project complexity. *Procedia Engineering*, *145*, 476-482. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.024

Dziekoński, K. (2017). Project managers' competencies model for construction industry in Poland. *Procedia Engineering*, *182*, 174-181. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.157

Franco-Ángel, M., Urbano, D. (2019). Caracterización de las PyMEs colombianas y de sus fundadores: un análisis desde dos regiones del país. *Estudios Gerenciales*, *35*(150), 81-91. https://doi.org/10.18046/j.estger.2019.150.2968

Frohmann, A., Mulder, N., Olmos, X. (2018). *Promoción de la innovación exportadora instrumentos de apoyo a las pymes*. Comisión Económica Para América Latina y El Caribe (CEPAL)

Gidado, K. I. (2010). Project complexity: The focal point of construction production planning. *Construction Management and Economics*, *14*(3), 213-225. https://doi.org/10.1080/0144619963734 76

Gill, J., Johnson, P. (2010). *Research Methods For Management* (4th ed.). SAGE Publications

Girmscheid, G., Brockmann, C. (2008). The inherent complexity of large scale engineering projects. *Project Perspectives*, *29*, 22-26. https://doi.org/10.3929/ethz-a-005994701

Hernández-Carrillo, C.-G., Rojas-Sarmiento, J.-A., González-Sanabria, J. S. (2021). Construction sector's analysis in the supply and demand of residential buildings around the business management of Stakeholders. *Revista Científica*, *41*(2), 213-224. https://doi.org/10.14483/23448350.17549

Hernández-Carrillo, C. G., Gutiérrez-Junco, O. J., Sarmiento-Rojas, J. A. (2023). Analysis of building behavior in construction industry and its relationship with its business performance for state contracting in Boyacá, Colombia. *Revista Venezolana de Gerencia (RVG)*, *28*(101), 186-209

International Project Management Association (2015). *Individual competence baseline for project, programme & portfolio management*. International Project Management Association

Jugdev, K., Müller, R. (2005). A retrospective look at our evolving understanding of project success. *Project Management Journal*, *36*(4), 19-31. https://doi.org/10.1177/875697280503600403

Kermanshachi, S., Dao, B., Rouhanizadeh, B., Shane, J., Anderson, S. (2020). Development of the project complexity assessment and management framework for heavy industrial projects. *International Journal of Construction Education and Research*, *16*(1), 24-42. https://doi.org/10.1080/15578771.2018.1499568

Luo, L., He, Q., Xie, J., Yang, D., Wu, G. (2016). Investigating the relationship between project complexity and success in complex construction projects. *Journal of Management in Engineering*, *33*(2), e471. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000471

Martínez-Trigo, E. (2009). *Análisis y medición del riesgo de crédito en carteras de activos financieros ilíquidos emitidos por empresas*. Universidad de Málaga

Ministerio de Comercio Industria y Turismo. (2019). *Por el cual se adiciona el capítulo 13 al Título 1 de la Parte 2 del Libro 2 del Decreto 1074 de 2015, Decreto Único del Sector Comercio, Industria y Turismo y se reglamenta el artículo 2° de la Ley 590 de 2000, modificado por el artículo 43 de la Ley 14*. República de Colombia

Morales-Vallejo, P. (2008). *Estadistica aplicada a las cencias sociales*. Universidad Pontificia Comillas

Peñaloza, G. A., Saurin, T. A., Formoso, C. T. (2020). Monitoring complexity and resilience in construction projects: The contribution of safety performance measurement systems. *Applied Ergonomics*, *82*, e102978. https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102978

Project Management Institute (PMI) (2014). *Navigating Complexity: A practice guide*. PMI

Radujković, M., Sjekavica, M. (2017). Project management success factors. *Procedia Engineering*, *196*, 607-615. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.048

República de Colombia. (2014). *Manual para determinar y verificar los requisitos habilitantes en los procesos de contratación*. República de Colombia

San Cristóbal, J. R., Carral, L., Díaz, E., Fraguela, J. A., Iglesias, G. (2018). Complexity and project management: A general overview. *Complexity*, *2018*, e4891286. https://doi.org/10.1155/2018/4891286

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

Sarmiento-Rojas, J. A. (2022). *Factores claves en la permanencia de empresas del sector de la construcción* [Tesis doctoral]. Universidad EAN, Bogotá D.C. https://repository.universidadean.edu.co/handle/10882/11634

Sarmiento-Rojas, J. A., Hernández-Carrillo, C. G., Rueda-Barón, M. J. (2022). *Factores de Permanecia empresarial del sector de la construcción en Colombia*. Editorial UPTC

Sarmiento-Rojas, J. A., Rueda-Barón, M. J. (2020). Evaluación en la gestión de interesados del sector de la construcción en la ciudad de Tunja, Boyacá. En J. A. Sarmiento-Rojas (Ed.), *Gerencia de proyectos e interesados* (pp. 1-43). Editorial UPTC

Segarra, A., Callejón, M. (2002). New firms' survival and market turbulence: New evidence from Spain. *Review of Industrial Organization*, *20*(1), 1-14. https://doi.org/10.1023/A:1013309928700

Shi, S. (2015). Liquidity, assets and business cycles. *Journal of Monetary Economics*, *70*, 116-132. https://doi.org/10.1016/j.jmoneco.2014.10.002

Trinh, M. T., Feng, Y. (2020). Impact of project complexity on construction safety performance: Moderating role of resilient safety culture. *Journal of Construction Engineering and Management*, *146*(2), e0001758. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001758

Wood, H. L., Gidado, K. (2008). An overview of complexity theory and its application to the construction industry. En *Proceedings of the 24th Annual Conference Association of Researchers in Construction Management*, 677-686

Xia, B., Chan, A. P. c. (2012). Measuring complexity for building projects: A Delphi study. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *19*(1), 7-24. https://doi.org/10.1108/09699981211192544

Zolin, R., Turner, R., Remington, K. (2009). *A model of project complexity: Sistinguishing dimensions of complexity from severity*. International Research Network of Project Management Conference (IRNOP). https://eprints.qut.edu.au/29011/