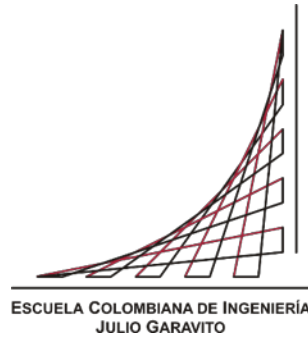


**ANÁLISIS DE LA POTENCIAL APLICACIÓN DEL *SOFTWARE* ECI-RCMPSP PARA
LA SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN DE MULTIPROYECTOS
CON RECURSOS RESTRINGIDOS EN GRANDES EMPRESAS DE LOS SECTORES
DE CONSTRUCCIÓN E HIDROCARBUROS DE BOGOTÁ**



Presentado por:
Eco. Carlos Andrés Hernández Fontecha
Eco. Cristian Arias García

Director:
Ing. Johanna Trujillo Díaz

Trabajo de grado presentado para optar por el título de:
Magister en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos

Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito
Maestría En Desarrollo y Gerencia Integral De Proyectos
Bogotá, 2019

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	8
1. PROPÓSITO DEL TRABAJO DE GRADO	10
2. PREGUNTA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	10
2.1. Pregunta de Investigación	10
2.2. Objetivo General	10
2.3. Objetivos Específicos	10
3. JUSTIFICACIÓN	11
4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	13
5. CONTEXTO SECTORIAL	16
5.1. SECTOR DE CONSTRUCCIÓN	16
5.1.1. Composición del Sector de la Construcción en Colombia	16
5.1.2. Factores que influyen en los proyectos de construcción	17
5.1.3. Marco Institucional	18
5.1.4. Sector de la construcción en la economía colombiana.	18
5.1.4.1. Producto Interno Bruto	18
5.1.4.2. Empleo	19
5.1.5. Sector a Nivel Mundial	20
5.2. SECTOR DE HIDROCARBUROS	20
5.2.1. Cadena Productiva	20
5.2.2. Factores que influyen en los proyectos de hidrocarburos	21
5.2.2.1. Marco Institucional	22
5.2.3. Sector de los hidrocarburos en la economía colombiana	23
5.2.3.1. Producto Interno Bruto	23
5.2.3.2. Aportes a los ingresos del Estado Colombiano	24
5.2.3.3. Inversión Extranjera Directa	24
5.2.4. Sector a Nivel Mundial	25
6. MARCO TEÓRICO	27
6.1. CONSTRUCTOS Y VARIABLES IDENTIFICADAS	27
6.2. AMBIENTE MULTIPROYECTOS	29
6.2.1. Multiproyectos	29
6.2.2. Cantidad de proyectos, estimaciones y dependencia de multiproyectos	29

6.2.3.	Ambiente de programación	30
6.3.	ACTIVIDADES	30
6.3.1.	Programación y técnica de programación	31
6.3.2.	Duración	32
6.3.3.	Relación de precedencias.....	33
6.3.4.	Ruta Crítica.....	33
6.4.	RECURSOS	34
6.4.1.	Tipo de Asignación.....	34
6.4.2.	Recursos Globales	35
6.4.3.	Tipo de Recursos	35
6.4.3.1.	Recursos Renovables	35
6.4.3.2.	Recursos No Renovables	35
6.4.3.3.	Recursos Doblemente Restringidos	36
6.4.3.4.	Recursos Continua o Discretamente Divisibles	36
6.4.3.5.	Recursos Interrumpibles o No Interrumpibles	36
6.4.4.	Tiempo de Transferencia	36
6.5.	MODELO RCMPSP	37
6.5.1.	Medida de Desempeño	37
6.5.1.1.	Funciones Objetivo de Duración	37
6.5.1.2.	Funciones Objetivo de Costos	39
6.5.1.4.	Funciones de Múltiples Objetivos	39
6.5.2.	Reglas de Prioridad (PR)	40
6.6.	Estudios Tipo Encuesta a Nivel Multiproyectos	43
7.	METODOLOGÍA	45
7.1.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	45
7.2.	REVISIÓN DE LA LITERATURA	46
7.3.	DISEÑO INSTRUMENTO DE MEDICIÓN	47
7.4.	MÉTODO DE MUESTREO	53
7.4.1.	Tamaño de Muestra	55
7.5.	APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO	57
7.6.	MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS.....	58
7.6.1.	Prueba Kunder Richardson.....	58

7.6.2.	Estadística Descriptiva	58
7.6.3.	Análisis Compuesto.....	58
8.	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
8.1.	Confiabilidad Kunder Richardson (KR-20).....	61
8.2.	Estadística Descriptiva.....	61
8.2.1.	Constructo: Información General.....	61
8.2.1.1.	Variable: Cargo,Rol.....	62
8.2.1.2.	Variable: Experiencia	62
8.2.1.3.	Variable: Cantidad de Proyectos Ejecutados.....	63
8.2.2.	Constructo: Ambiente Multiproyectos	64
8.2.2.1.	Variable: Multiproyectos	64
8.2.2.2.	Variable: Cantidad de Proyectos Simultáneos.....	65
8.2.2.3.	Variable: Estimaciones	66
8.2.2.4.	Variable: Proyectos Dependientes.....	66
8.2.2.5.	Variable: Ambiente de Programación	67
8.2.3.	Constructo: Actividades	68
8.2.3.1.	Variable: Programación.....	68
8.2.3.2.	Variable: Técnica de Programación	69
8.2.3.3.	Variable: Software de Programación.....	70
8.2.3.4.	Variable: Duración	70
8.2.3.5.	Variable: Relación de Precedencia	71
8.2.3.6.	Variable: Ruta Crítica.....	72
8.2.4.	Constructo: Recursos.....	72
8.2.4.1.	Variable: Tipo de Asignación.....	72
8.2.4.2.	Variable: Asignación por Actividad.....	73
8.2.4.3.	Variable: Recursos Globales	74
8.2.4.4.	Variable: Tipo de Recursos	74
8.2.4.5.	Variable: Tiempo de Transferencia	75
8.2.5.	Constructo: Modelo RCMPSP	76
8.2.5.1.	Variable: Medida de Desempeño	76
8.2.5.2.	Variable: Regla de Prioridad	76
8.2.5.3.	Variable: Método de Optimización	77

8.3.	Análisis de Retos y Oportunidades	78
8.3.1.	Análisis RII - Sector de Construcción	78
8.3.1.1.	Oportunidades	80
8.3.1.2.	Retos	81
8.3.1.3.	Fortalezas (Futuras Oportunidades).....	83
8.3.1.4.	Amenazas (Futuros Retos).....	83
8.3.2.	Análisis RII - Sector de Hidrocarburos	84
8.3.2.1.	Oportunidades	85
8.3.2.2.	Retos	87
8.3.2.3.	Fortalezas (Futuras Oportunidades).....	88
8.3.2.4.	Amenazas (Futuros Retos).....	88
8.4.	Ajustes al <i>Software</i> ECI-RCMPSP	89
8.4.1.	Funciones Objetivo.....	90
8.4.2.	Ambiente Dinámico y dependencia de proyectos	90
8.4.3.	Relaciones de Precedencia.....	91
8.4.4.	Amenazas Considerables	92
8.4.5.	Prueba de Kruskal-Wallis.....	92
9.	CONCLUSIONES	94
10.	PERPECTIVAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES.....	95
	ANEXOS	96
	ANEXO 1.....	96
	ANEXO 2.....	97
	ANEXO 3.....	100
	ANEXO 4.....	103
	REFERENCIAS.....	108

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición del Sector de la Construcción en Colombia	16
Tabla 2. Marco Institucional	18
Tabla 3. Cadena Productiva del Sector Hidrocarburos en Colombia	21
Tabla 4. Constructos y variables	27
Tabla 5. Medidas de Desempeño	37
Tabla 6. Reglas de Prioridad	41
Tabla 7. Enfoque Metodológico por Objetivo	45
Tabla 8. Ficha Técnica del Instrumento de Medición	48
Tabla 9. Instrumento de Medición	49
Tabla 10. Muestra Estratificada.	57
Tabla 11. Oportunidades y Retos - Sector Construcción.	79
Tabla 12. Fortalezas y Amenazas - Sector Construcción	82
Tabla 13. Oportunidades y Retos – Sector Hidrocarburos	85
Tabla 14. Fortalezas y Amenazas – Sector Hidrocarburos	87
Tabla 15. Matriz de Correlaciones de Sperman	90
Tabla 16. Prueba K-W	92
Tabla 17. Panel de Expertos	97

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Árbol de Problema	15
Ilustración 2. Participación del Sector de la Construcción en el PIB	19
Ilustración 3. Valor Agregado de Edificaciones y Obras Civiles	19
Ilustración 4. Participación del Sector de la Construcción en el Empleo	20
Ilustración 5. Participación del Sector Hidrocarburos en el PIB	23
Ilustración 6. Participación de los Hidrocarburos en la Rama Minas y Canteras	24
Ilustración 7. Aporte del Sector Hidrocarburos en los Ingresos del Gobierno Colombiano	24
Ilustración 8. Inversión Extranjera Directa en Hidrocarburos	25
Ilustración 9. Evolución Precios Internacionales del Petróleo	26
Ilustración 10. Modelo Básico RCMPSP	30
Ilustración 11. Métodos de Solución al Problema RCMPSP	32
Ilustración 12. Pasos de la Metodología	46
Ilustración 13. Literatura Consultada	47
Ilustración 14. Filtro de Ubicación 1.	54
Ilustración 15. Filtro de Ubicación 1.1.	54
Ilustración 16. Filtro de Actividad Económica 2.	54
Ilustración 17. Filtro Tamaño de Empresa 3.	55
Ilustración 18. Códigos CIUU Sector Hidrocarburos	55
Ilustración 19. Tamaño de Muestra Probabilística.	56

Ilustración 20. Matriz de Importancia/Funcionalidad.....	59
Ilustración 21 Cargo/Rol en la Organización.....	62
Ilustración 22. Experiencia en el Área de Proyectos.	63
Ilustración 23. Cantidad de Proyectos Ejecutados.....	64
Ilustración 24. Ejecución de Proyectos en Simultáneo.....	65
Ilustración 25. Cantidad de Proyectos Ejecutados en Simultáneo.....	65
Ilustración 26. Tipo de Estimaciones.....	66
Ilustración 27. Dependencia.....	67
Ilustración 28. Ambiente de Programación	68
Ilustración 29. Cronogramas.....	69
Ilustración 30. Técnicas de Programación.....	69
Ilustración 31. Software de Programación.....	70
Ilustración 32. Estimaciones de Duración	71
Ilustración 33. Relaciones de Precedencia.....	71
Ilustración 34. Ruta Crítica.....	72
Ilustración 35. Tipo de Asignación de Recursos	73
Ilustración 36. Asignación de Recursos por Actividad.....	73
Ilustración 37. Recursos Globales.....	74
Ilustración 38. Recursos Renovables y No Renovables.....	75
Ilustración 39. Tiempos de Transferencia.....	75
Ilustración 40. Objetivo de programación.	76
Ilustración 41. Regla de Prioridad.	77
Ilustración 42. Método de Optimización.	78
Ilustración 43. Ranking de RII - Sector Construcción.....	79
Ilustración 44. Ranking RII – Sector Hidrocarburos	84
Ilustración 45. Matriz Spearman (1).....	101
Ilustración 46. Matriz Spearman (2).....	102
Ilustración 47. Resultados K-W (1).....	104
Ilustración 48. Resultados K-W (2).....	105
Ilustración 49. Resultados K-W (3).....	106
Ilustración 50. Resultados K-W (4).....	107

INTRODUCCIÓN

Los problemas de programación de proyectos (PSP, por sus siglas en inglés, *Project Scheduling Problems*) son una generalización a los problemas de programación de producción industrial (Baker, 1974). Estos problemas han sido objeto de varias investigaciones; dentro de los problemas de combinatoria estos tienen una complejidad alta, debido al tiempo computacional y a la capacidad de procesamiento de datos para encontrar una solución óptima (Ikonomou, Galletly, & Daniel, 1998).

Lova & Tormos (2001) afirman que el 84% de las empresas trabajan con proyectos múltiples y simultáneos. Para las compañías que se enfrenta a este tipo de entornos, hay estudios en la literatura que buscan solucionar los problemas de programación de múltiples proyectos con recursos restringidos (RCMPSP, por sus siglas en inglés *Resource Constrained Multi Project Scheduling Problem*) que involucran la programación de actividades de varios proyectos, sujetos a restricciones de precedencia y recursos limitados que deben ser compartidos (Morillo, Moreno, & Díaz, 2015).

Sin embargo, existe una brecha entre la teoría y las necesidades prácticas de las empresas para encontrar soluciones al RCMPSP (Vanhoucke, 2018) y particularmente en Colombia donde las investigaciones alrededor de este tema han sido limitadas.

El problema RCMPSP se presenta en diferentes sectores productivos, incluyendo la industria de la construcción a gran escala, los hidrocarburos, la logística corporativa y el manejo de proyectos en la industria de la manufactura (Katsavounis, 2008). Teniendo en cuenta que en Colombia los dos primeros sectores aportan a la economía del país para la generación de valor agregado, empleo, encadenamientos sectoriales y la importante participación en el PIB. Donde la participación promedio del sector de la construcción en el PIB nacional fue del 6.7% y el aporte del sector hidrocarburos se encuentra en promedio en 3.8% para el período 2005-2018 (ACP, 2018; Camacol, 2018; DANE, 2018). Por tanto, buscar soluciones al problema RCMPSP para las organizaciones de estos sectores es relevante para la comunidad académica e industrial.

En las investigaciones previas realizadas por Amaya, Ayala, Doncel, & Sarmiento (2018) y Aristizábal, Castellanos, & Ordoñez (2017) constituyeron las fases 1 y 2, respectivamente. En la fase 1 se desarrolló un *software*, en lenguaje Java, teniendo en cuenta los supuestos teóricos básicos reportados en la literatura para el problema RCMPSP, con el objetivo de medir el desempeño de métodos heurísticos basados en reglas de prioridad utilizados para encontrar soluciones óptimas al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos. En la fase 2, se evaluó la capacidad del *software* con diferentes medidas de desempeño (objetivos de programación), particularmente de duración, mediante la combinación de reglas de prioridad para encontrar soluciones óptimas al problema RCMPSP. La evaluación se llevó a cabo con proyectos teóricos (datos no reales usados para simulación) generados para probar métodos de solución al problema RCMPSP.

Aprovechando los resultados de las fases anteriores de la investigación, el objetivo del presente trabajo denominado fase 3, fue analizar la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP para la solución al problema RCMPSP en grandes empresas de los sectores de construcción e

hidrocarburos de Bogotá. Para lo cual se estableció retos y oportunidades de la aplicación del *software*, así como, sus posibles ajustes para su potencial aplicación en ambientes reales de multiproyectos.

Utilizando como referencia las variables tenidas en cuenta en los modelos conceptuales reportados en la literatura para encontrar soluciones al problema RCMPSP, se determinaron las variables relevantes para la programación de multiproyectos en grandes empresas de los sectores de estudio. Lo anterior se logró a través del diseño de un instrumento de medición y su aplicación a una muestra estadísticamente representativa para recolectar datos tanto cuantitativos como cualitativos. La información se codificó y consolidó para analizar las variables determinadas alrededor del problema RCMPSP mediante el cálculo del índice de importancia relativa (RII) que permitió establecer los retos y oportunidades para la aplicación del software ECI-RCMPSP en grandes empresas de los sectores de estudio.

Por último, a través de las pruebas de significancia estadística de correlación de Sperman y medianas de Krusal-Wallis se propusieron los ajustes necesarios al software ECI-RCMPSP para su potencial aplicación en encontrar soluciones óptimas al problema RCMPSP en los sectores de la construcción y los hidrocarburos.

El documento de investigación está organizado de la siguiente manera: en la sección 1 se establece el propósito en el ámbito de conocimiento y en la gerencia de proyectos; en la sección 2, se define la pregunta y los objetivos de investigación; la sección 3, presenta la justificación de la investigación; la sección 4 describe el problema que aborda el estudio; en la sección 5 se realizó un contexto de la importancia de los sectores estudiados en proyectos y en la economía; en la sección 6, se encuentra el marco teórico alrededor del problema RCMPSP utilizado como referencia para determinar las variables de análisis; en la sección 7 se estableció la metodología para lograr los objetivos planteados; la sección 8 expone los hallazgos y discusión de la investigación y finalmente en la sección 9 las conclusiones y recomendaciones para investigaciones futuras.

1. PROPÓSITO DEL TRABAJO DE GRADO

Esta investigación denominada fase 3 busca contribuir a mejorar la efectividad de la toma de decisiones en la gerencia y programación de portafolios, programas y proyectos en el sector de la construcción y los hidrocarburos en Colombia, y a la generación de conocimiento para el grupo de investigación en gerencia de proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, mediante el análisis de la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP desarrollado en la fase 1 (Aristizabal et al., 2017) y la fase 2 (Amaya et al., 2018), la cual es una herramienta basada en métodos heurísticos de reglas de prioridad, para encontrar soluciones óptimas al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos (RCMPSP).

2. PREGUNTA Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Pregunta de Investigación

¿Cuál es la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP para encontrar soluciones óptimas a los problemas de programación de multiproyectos con recursos restringidos en las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá?

2.2. Objetivo General

Analizar la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP en las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá, para encontrar soluciones al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos (RCMPSP).

2.3. Objetivos Específicos

1. Determinar las variables para la programación de multiproyectos en grandes empresas de los sectores de construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá, a través del diseño de un instrumento de medición elaborado a partir de la literatura, su validación con expertos en la gerencia de proyectos y su aplicación en una muestra estadísticamente representativa.
2. Establecer retos y oportunidades para medir la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP en grandes empresas de los sectores de construcción e hidrocarburos en Bogotá, a través del análisis del índice descriptivo de importancia relativa de las variables determinadas en el objetivo 1.
3. Proponer los ajustes necesarios al *software* ECI-RCMPSP para su potencial aplicación en encontrar soluciones al problema RCMPSP en el entorno multiproyecto de los sectores de construcción y los hidrocarburos de las grandes empresas en Bogotá, usando el coeficiente de correlación de Spearman y la prueba de homogeneidad de Kruskal-Wallis.

3. JUSTIFICACIÓN

Desde la introducción de metodologías para la planificación y gestión de proyectos en los años 50, el desarrollo de algoritmos eficientes para la programación de problemas bajo un conjunto de supuestos teóricos ha sido un tema de investigación en crecimiento y ha generado una amplia variedad de métodos de solución para resolver el problema de asignación de recursos limitados (Vanhoucke, 2018).

Sin embargo, a pesar de múltiples investigaciones realizadas sobre desarrollos y aplicaciones de métodos para encontrar soluciones óptimas al problema RCMPSP en diferentes países, en Colombia este tema ha tenido una investigación limitada según la literatura consultada en la presente investigación. Adicionalmente, existe una brecha entre la investigación académica y las necesidades prácticas de las organizaciones tales como herramientas rápidas y eficientes para la solución a los problemas de programación y la toma de decisiones (Vanhoucke, 2018).

Así pues, considerando la brecha existente entre la teórica y la práctica (Vanhoucke, 2018), junto con el impacto significativo en el tiempo y los costos que genera el problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos en las organizaciones (Sonmez & Uysal 2014); y teniendo en cuenta que la capacidad de gestionar y programar múltiples proyectos es una ventaja competitiva (Araszkievicz, 2017), donde mejoras en la gestión conduciría a beneficios para los objetivos de las compañías (Deblaere, Demeulemeester, & Herroelen, 2011). Esto hace que realizar investigaciones relacionadas con el desarrollo y la potencial aplicación de métodos para encontrar soluciones óptimas al problema RCMPSP sea relevante para la comunidad académica e industrial.

Ahora bien, investigaciones en la línea de secuenciación y programación de recursos como las realizadas durante la fase 1 (Amaya et al., 2018) y la fase 2 (Aristizabal et al., 2017), previas a la presente investigación (fase 3), demostraron mediante el desarrollo y la aplicación teórica de un *software* denominado *software* ECI-RCMPSP, que hay métodos que permiten resolver el problema RCMPSP en ambientes de simulación, utilizando algoritmos heurísticos basados en reglas de prioridad (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017).

Por tanto, en la fase 3 de investigación se buscó aprovechar los resultados obtenidos y el *software* ECI-RCMPSP de las investigaciones realizadas por Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017), debido a la necesidad de analizar su potencial de aplicación en ambientes reales de multiproyectos de empresas colombianas, específicamente, las empresas de los sectores económicos de la construcción y los hidrocarburos, desconociéndose los retos y oportunidades de la aplicación de dicho *software* en éstos dos sectores, así como los posibles ajustes requeridos a la configuración del mismo, para encontrar soluciones al problema RCMPSP en el contexto empresarial.

La razón fundamental por la que se escogieron los sectores de la construcción y los hidrocarburos para analizar la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP se basó en la importancia que representan los sectores en la economía colombiana y por su capacidad de ejecución de múltiples proyectos de las organizaciones de estos sectores.

El sector de la construcción se compone por los subsectores de edificaciones y obras civiles (Camacol, 2018) y es uno de los sectores productivos que más aporta al crecimiento de las

economías de los países, generando alrededor del 10% del Producto Interno Bruto (PIB) mundial (GD, 2018). En Colombia, el sector de la construcción según cifras del DANE (2018) se ha consolidado como uno de los sectores de mayor aporte al PIB, por sus características de generación de valor agregado, demanda intensiva de mano de obra, encadenamientos sectoriales y efectos multiplicadores que hacen que sea un sector fundamental en la economía (Camacol, 2018). Para el período 2005-2018, la participación promedio del sector en el PIB nacional fue del 6.7%, en términos de valor aporta anualmente cerca de 47 billones de pesos a la economía colombiana (Camacol, 2018, DANE 2018).

El sector de hidrocarburos se compone por compañías que exploran, desarrollan y operan campos de petróleo y gas natural. Es considerado como uno de los sectores más grandes en términos de valor económico a nivel mundial y aporta en gran medida al PIB de los diferentes países. En 2017, se estimó que representaba entre 2% y 3% del PIB en la economía mundial (BP, 2018). En Colombia, el aporte del sector hidrocarburos al PIB se encuentra para el período 2005-2018, en promedio en 3.8% (ACP 2018, DANE 2018) y entre el 2005-2017 los ingresos petroleros aportaron, en promedio el 21% de los ingresos corrientes en Colombia. Además, el Banco de la Republica de Colombia (2018) reportó que la inversión extranjera directa (IED) en proyectos del sector de hidrocarburos, registró una participación del 30% para el periodo 2005-2017.

Dada la importancia de los sectores, analizar la potencial aplicación del software ECI-RCMPSP bajo este contexto empresarial de multiproyectos es relevante, por un lado, para contrastar y acotar la brecha entre la teoría y la realidad de las organizaciones, y por otro, analizar las potenciales aplicaciones del software desarrollado por la ECI para solucionar el problema RCMPSP, que podrían generar beneficios económicos y aportar a la gestión de proyectos.

4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las organizaciones que ejecutan sus actividades en un ambiente multiproyecto presentan un problema de programación de actividades de sus proyectos debido a la existencia de recursos limitados que deben ser asignados eficientemente entre diferentes proyectos, los cuales se desarrollan de manera simultánea y hace que la planificación de los multiproyectos sea una tarea compleja (Lova & Tormos, 2001).

La programación de proyectos a nivel corporativo consiste en organizar las actividades en una secuencia óptima que cumpla con los criterios y objetivos organizacionales. A su vez, este conjunto de actividades tiene una serie de restricciones, de manera específica, se hace referencia a dos clases: la primera, la restricción de precedencias, la cual consiste en que cada actividad no puede ser iniciada antes de que todas sus actividades predecesoras hayan terminado y la segunda, la restricción de recursos, la cual consiste en que para la ejecución de cada actividad se requiere de una cantidad de recursos necesarios, los cuales son limitados en las organizaciones; lo anterior en la literatura se define como Problema de Programación de Múltiples Proyectos con Recursos Restringidos (RCMPSP por sus siglas en inglés) (Morillo et al., 2015).

En este problema de programación se deben tener en cuenta características de los sectores donde las organizaciones ejecutan sus proyectos. Específicamente, en el sector de la construcción el anterior problema de programación es complejo al presentarse problemas por factores internos como procesos de estructuración, priorización y selección de proyectos a nivel de gerencia y por factores externos producto de modificaciones normativas, cambios en los precios de la materia prima, modificaciones en las necesidades o expectativas dadas por los patrocinadores, lo cual influye en la rentabilidad de los proyectos (Trujillo, Gomez, & Fajardo, 2018).

En el sector de hidrocarburos en los proyectos existen aspectos que generan incertidumbre y que deberían ser tenidos en cuenta en la programación de los proyectos. Uno de estos aspectos se genera por fluctuaciones cambiarias, dado que los proyectos se financian principalmente con ingresos en moneda extranjera, y su mitigación debe ser planeada con coberturas para evitar pérdidas y generar una mayor eficiencia en tiempo y costos (Arrieta & Díaz, 2017). También, se deben tener en cuenta aspectos legislativos, políticos y fundamentalmente operativos, debido a que los procesos de la etapa de la cadena productiva de exploración involucran alta incertidumbre e implican altas inversiones, como capital de riesgo, que debe gestionarse a través del empleo óptimo de los recursos (López & Montes, 2013).

Adicional, la gerencia de proyectos en las organizaciones del sector de la construcción en las fases de planeación y ejecución se enfrenta a un ambiente con recursos limitados, tiempos justos y necesidades que involucran altas expectativas de los clientes (Trujillo et al., 2018). En el caso del sector de los hidrocarburos los proyectos que ejecutan las organizaciones se enfrentan a factores de riesgo y grandes magnitudes de costos y duración (Arrieta & Díaz, 2017), dos características que dependen de la etapa productiva en que se estén desarrollando los proyectos y la etapa del ciclo de vida del proyecto que comprenden evaluación, diseño, planificación, ejecución, operación y una etapa de control (El-Reedy, 2016).

Durante las últimas décadas, se han desarrollado varios métodos para encontrar soluciones al problema RCMPSP, proponiéndose variaciones a los supuestos teóricos, con relación a los que inicialmente fueron considerados para abordar el problema básico, tal como lo exponen Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017). Algunas de las variaciones se relacionan con duraciones estocásticas, para tener en cuenta la incertidumbre (Afruzi, Aghaie, & Najafi, 2018; Gang, Xu, & Xu, 2013; Wang, He, Kerkhove, & Vanhoucke, 2017), decisiones multiagente (Adhau, Mittal, & Mittal, 2012; Araúzo, Pajares, & Lopez, 2010; Pajares & López, 2014), priorización y ponderaciones de proyectos (Beşikci, Bilge, & Ulusoy, 2014; Yassine & Browning, 2010) influencia de la estructura organizacional (D. Zhang, Chen, & Zhu, 2014), restricciones en el tiempo y costo de transferencia de recursos (Krüger & Scholl, 2009; Mika, Walig, & We, 2008), entre otros. Variables que hacen referencia a los problemas adicionales a la programación, que enfrentan la gerencia y ejecución de los proyectos en las organizaciones de los sectores de la construcción y los hidrocarburos.

Sin embargo, Araúzo et al. (2010) y Pinha & Ahluwalia (2019) han expuesto que los métodos desarrollados, mencionados anteriormente, tienen mayor aplicación para encontrar soluciones al problema de programación de proyectos cuando la complejidad de los mismos es baja (pocas actividades y recursos) y la red de secuencias de los proyectos permanece casi estática, supuestos poco aplicables a la realidad. Así mismo, Kolisch, Sprecher, & Drexl (1995) expone que los modelos son usados en softwares comerciales que no admiten multiproyectos y Villafañez, Poza, López, Pajares, & Olmo (2018) indican que los métodos tradicionales para la programación de proyectos no responden satisfactoriamente a la complejidad de portafolios actuales realizados por las organizaciones.

Así pues, los métodos de solución que toman bases de datos artificiales (datos no reales) de cronogramas con baja complejidad de proyectos para simulaciones de los modelos y desarrollo de *softwares*, no son el reflejo de la realidad de las organizaciones y del contexto de proyectos en un sector en particular, generando brechas entre la teoría y la práctica (Vanhoucke & Coelho, 2018).

En la Ilustración 1, se presenta la anterior problemática. A manera de árbol de problemas se muestra que los modelos y herramientas desarrollados, producto de la necesidad de programar múltiples proyectos con recursos restringidos, son poco aplicables debido a que se basan en simulaciones con datos artificiales, softwares limitados, cronogramas de baja complejidad; generando brechas significativas entre la teoría y las necesidades de las empresas de diferentes sectores, impactos en la duración y costo de los proyectos de las organizaciones y hace que la planificación de los multiproyectos sea una tarea compleja.

Ilustración 1. Árbol de Problema



Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, a pesar de que en países diferentes a Colombia se han desarrollado amplias investigaciones sobre métodos para encontrar soluciones óptimas al problema RCMPSP, en Colombia la investigación sobre este tema es limitada y dentro de la revisión de la literatura no se encontró aplicaciones potenciales de los métodos desarrollados en entornos multiproyectos reales de las empresas colombianas, particularmente, en los sectores de la construcción y los hidrocarburos.

Adicional a lo anterior, el desarrollo del *software* ECI-RCMPSP se basó en los supuestos teóricos reportados en la literatura tales como ambiente estático, proyectos independientes, duración determinística de las actividades, relaciones de precedencia de tipo fin a comienzo, recursos renovables-globales bajo una asignación centralizada (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017). Por tanto, es necesario analizar si éstos supuestos teóricos en los cuales se basó el desarrollo del *software* se ajustan a la realidad de las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos en Bogotá, con el fin de analizar la potencial aplicación de este *software* para encontrar soluciones al problema RCMPSP y si es necesario proponer ajustes a la configuración del mismo para su potencial aplicación comercial.

5. CONTEXTO SECTORIAL

Los sectores seleccionados para esta investigación fueron el sector de la construcción y los hidrocarburos debido a que se enfrentan al problema RCMPSP (Katsavounis, 2008). Teniendo en cuenta que las empresas de estos sectores no solo se enfrentan al problema de programación de múltiples proyectos con recursos restringidos; en este capítulo se muestran algunas características bajo las cuales las organizaciones de los sectores de la construcción y los hidrocarburos ejecutan los proyectos y la programación de estos.

Estos sectores fueron seleccionados también por su importancia y contribución a la economía mundial y colombiana. Debido a que dentro del periodo 2005-2018 el PIB de la construcción fue alrededor de 6.7%, y el de hidrocarburos 3.8%, se demuestra que éstos han generado valor agregado al país, empleo y encadenamientos sectoriales (ACP, 2018; Camacol, 2018; DANE, 2018). Por esta razón, exponen variables macroeconómicas para contextualizar el aporte de estos sectores a la economía colombiana.

Finalmente, se escogieron dos sectores para poder contrastar la potencial aplicación del *software* y poder establecer si existen diferencias de usabilidad y ajustes a realizar teniendo en cuenta las características de los sectores alrededor del problema RCMPSP y así dar cumplimiento al objetivo número 3 de la presente investigación.

5.1.SECTOR DE CONSTRUCCIÓN

5.1.1. Composición del Sector de la Construcción en Colombia

La actividad de construcción hace referencia a la ejecución de proyectos de obras públicas o privadas por parte de empresas constructoras y contratistas que generalmente están relacionadas con el sector industrial y sus servicios derivados. En Colombia, el sector de la construcción está conformado por dos grandes subsectores: Edificaciones y Obras Civiles (Camacol, 2018) como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición del Sector de la Construcción en Colombia

Edificaciones	Obras Residenciales	Comprende las actividades y empresas que se dedican a la construcción de vivienda de interés social (VIS) y a vivienda diferente de interés social (NO VIS).
	Obras No Residenciales	Comprende las empresas enfocadas a la edificación de centros comerciales, hospitales, oficinas, bodegas, centros educativos. Esta actividad puede ser promovida por entidades públicas (como la construcción de hospitales) o por entes privados.
	Mantenimiento y Reparación	Comprende todas aquellas actividades que se realizan en edificaciones residenciales o no residenciales ya construidas, que debido al paso del tiempo o de otros factores (incendios o inundaciones) necesitan mantenimiento o reparación.

Obras Civiles	Infraestructura de Transporte	<p>Se subdivide en tres grandes grupos:</p> <p>1. Terrestre que corresponde a obras que contribuyen a mejorar la movilidad, el transporte de carga y el transporte masivo de pasajeros (vial y ferroviaria).</p> <p>2. Marítima, son obras para construcción y ampliación de terminales marítimos para carga y pasajeros, además de obras en canales interoceánicos y diques.</p> <p>3. Aérea, todas las obras relacionadas con aeropuertos, terminales de carga, torres de control y comunicaciones.</p>
	Infraestructura de Energía	<p>Son obras que están destinadas a la construcción de redes eléctricas de generación hidráulica o térmica para la producción de energía, adicional las redes para abastecer la demanda eléctrica de la población. Adicional, comprende las obras para el aprovechamiento de recursos renovables, con parques eólicos, granjas solares y obras para la explotación y transporte de hidrocarburos.</p>
	Infraestructura Hidráulica	<p>Obras desarrolladas para mejorar la calidad de vida la población, para el consumo de agua potable, canalización y tratamiento de aguas residuales y acueductos.</p>
	Infraestructura de Telecomunicaciones	<p>Todas las obras relacionadas con redes de telefonía, televisión, fibra óptica, para mejorar los servicios de comunicación de toda la población.</p>

Fuente: elaboración propia con base en Camacol (2018)

5.1.2. Factores que influyen en los proyectos de construcción

Como se observó en la Tabla 1, la composición principal del sector de la construcción en Colombia se concentra en obras de edificaciones y obras civiles de infraestructura, siendo la ejecución de proyectos la actividad productiva principal y en la cual, la gerencia de éstos contempla aspectos tales como la planeación y ejecución de proyectos con recursos limitados, tiempos justos y necesidades con altas expectativas de los clientes (Trujillo et al., 2018)

Trujillo et al. (2018) menciona que existen factores internos en las organizaciones que influyen negativamente y de manera directa en el correcto desarrollo de las actividades y procesos gerenciales de los proyectos. Uno de ellos es la existencia de problemas al nivel de la gerencia en los procesos para la estructuración, priorización y selección de proyectos, entre otras cosas, debido a que estos proyectos no se encuentren alineados con los objetivos estratégicos de la organización. Además, la estructura organizacional no solo provoca errores en la planificación y estructuración de proyectos, sino que también influyen en las desviaciones de la triple restricción (costo, tiempo, alcance).

Por otro lado, hay factores externos producto de modificaciones normativas, cambios en los precios de la materia prima, modificaciones en las necesidades o expectativas dadas por el patrocinador, que pueden influir de manera tangible en la rentabilidad de los proyectos y su recurrencia provocan dificultades operativas y gerenciales (Trujillo et al., 2018).

De acuerdo con el PMI, (2018) las empresas constructoras en Colombia obtendrían una acertada gestión de los proyectos, a partir de la integración adecuada de los 47 procesos contemplados en el PMBOK. Sin embargo, afirman que es una realidad que las empresas de construcción que existen en Colombia ya sean pequeñas o grandes, muy pocas de ellas aplican o acogen este estándar para optimizar la gestión de sus proyectos y maximizar el control y monitoreo de éstos.

5.1.3. Marco Institucional

El marco institucional del sector de la construcción tiene varios niveles que lo conforman diferentes entidades y organizaciones (ver Tabla 2). Están las entidades encargadas de dictar la política pública nacional, las entidades nacionales, regionales, departamentales y municipales que tienen injerencia en la ordenación y planeamiento territorial. Por último, se encuentran los entes y organizaciones privadas que participan en los procesos de construcción.

Tabla 2. Marco Institucional

Nacional	Regional	Empresas
Presidencia	Gobernaciones	Empresas de Cemento y Canteras
Congreso	Alcaldías	Constructoras
DNP	Concejos Municipales	Sector Financiero
Ministerio de Vivienda	Curadurías Urbanas	Sector Inmobiliario
Fondo Nacional del Ahorro		Empresas de Insumos Intermedios

Fuente: elaboración propia con base en Camacol (2018)

5.1.4. Sector de la construcción en la economía colombiana.

5.1.4.1. Producto Interno Bruto

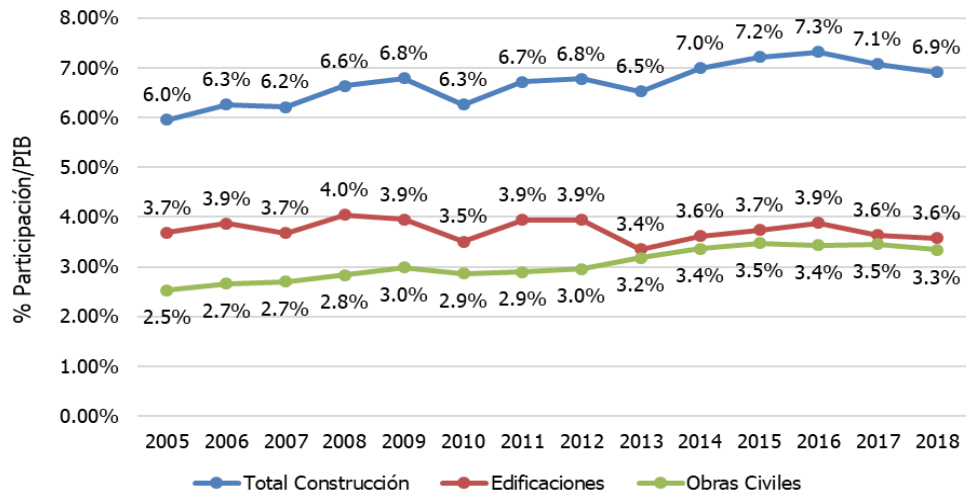
El sector de la construcción según cifras del DANE (2018) a lo largo de los años se ha consolidado como uno de los sectores de mayor aporte al PIB de Colombia, por sus características de generación de valor agregado, demanda intensiva de mano de obra, encadenamientos sectoriales y efectos multiplicadores que hacen que sea un sector fundamental en la economía colombiana (Camacol, 2018).

Es así, como para el período 2005-2018, la participación promedio fue del 6.7% (ver Ilustración 2), donde el subsector de edificaciones aportó en promedio 3.7% del PIB del país y el subsector de obras civiles y actividades especiales alrededor del 3.0%, en términos de valor aporta anualmente cerca de 47 billones de pesos a la economía colombiana.

Adicionalmente, las edificaciones es la actividad de mayor relevancia dentro de la gran rama de construcción con una participación del 56% (ver Ilustración 3). Sin embargo, el subsector de edificaciones se ha visto rezagado durante el periodo 2017-2018. Camacol (2018) y las cifras del Censo de Edificaciones del DANE, indican que las licencias aprobadas para las obras en construcción cayeron un 6.7% en 2018, por factores tales como los niveles de sobreoferta en las

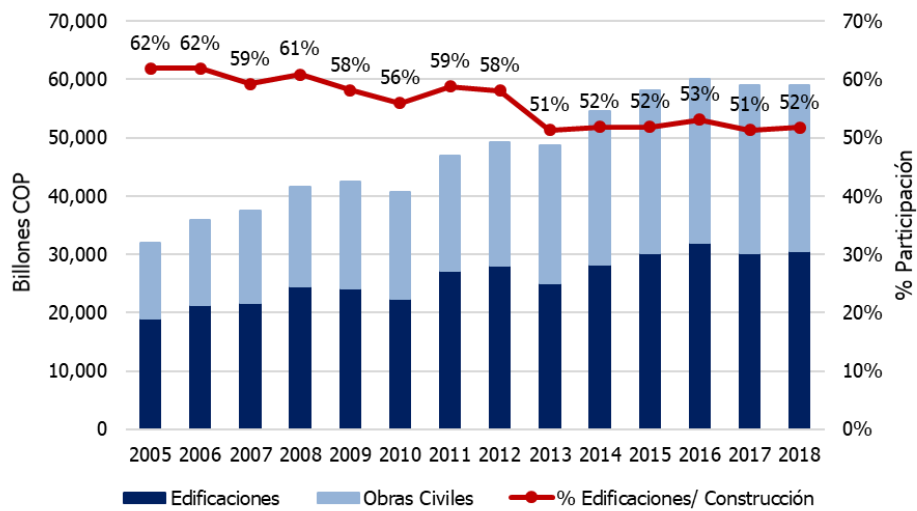
principales ciudades del país y los bajos ritmos de ejecución de proyectos donde se observaron fuertes deterioros en obras de comercio, apartamentos y oficinas.

Ilustración 2. Participación del Sector de la Construcción en el PIB



Fuente: elaboración propia con base en Camacol (2018) y DANE (2018)

Ilustración 3. Valor Agregado de Edificaciones y Obras Civiles

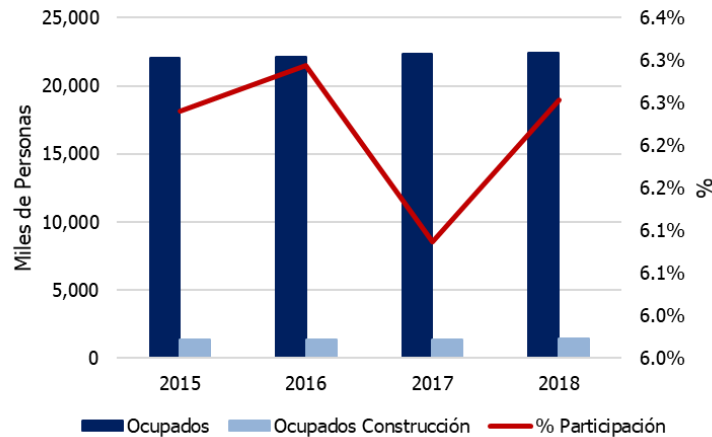


Fuente: elaboración propia con base en Camacol (2018) y DANE (2018)

5.1.4.2. Empleo

El sector de la construcción y las actividades inmobiliarias emplean directamente el 6.2% de la mano de obra de Colombia (ver Ilustración 4). La cifra de personas ocupadas para el año 2018 en el sector asciende a 1.4 millones (Camacol, 2018). Según la ANDI (2017) indica que por cada billón de pesos que se incrementa la inversión en el sector de la construcción, se generan alrededor de 50 mil empleos directos.

Ilustración 4. Participación del Sector de la Construcción en el Empleo



Fuente: elaboración propia con base en Camacol (2018) y DANE (2018)

5.1.5. Sector a Nivel Mundial

La construcción es uno de los sectores productivos que más aporta al crecimiento de las economías de los países, generando alrededor del 10% del PIB mundial. Es un sector de alta importancia no solo por la gran cantidad de empresas y trabajadores que involucra de forma directa e indirecta (7% de las personas empleadas en el mundo) (GD, 2018), sino también por su efecto dinamizador de encadenamientos por la demanda de productos intermedios (materias primas, equipamiento electrónico, servicios) para el desarrollo de las actividades del sector.

Según el reporte del GlobalData (2018) se espera que el ritmo de expansión en la industria de la construcción global alcance un 3.6% anual durante el período 2019-2022. En términos de valor pronostican que la producción mundial de la construcción aumentará a 12,9 billones de dólares en el año 2022, frente a los 10,8 billones dólares generados en el año 2017.

Lo anterior debido a las perspectivas de recuperación de la economía de Estados Unidos y de los mercados emergentes de Asia (China, Japón, India) que seguirán representado la mayor parte de la industria de la construcción mundial con un crecimiento promedio anual de 6.4%. Adicionalmente, a medida que los precios del petróleo aumenten, la inversión a gran escala en proyectos de infraestructura, en su mayoría relacionados con el transporte, será una fuerza impulsora clave del crecimiento (GD, 2018).

5.2.SECTOR DE HIDROCARBUROS

5.2.1. Cadena Productiva

La Cadena de Producción de Hidrocarburos (CPH) en Colombia como menciona López & Montes (2013) está compuesta por compañías que realizan el conjunto de actividades económicas correspondientes a la exploración, perforación, producción, refinación y comercialización de los hidrocarburos, entendiéndose como recursos no renovables orgánicos compuestos por carbono e hidrógeno, conocidos como petróleo y gas natural. La CPH se desarrolla en dos grandes ramas: Upstream y Downstream como se describe en la Tabla 3.

Tabla 3. Cadena Productiva del Sector Hidrocarburos en Colombia

UPSTREAM	Etapa 1. Exploración	Proceso mediante el cual se realiza una búsqueda de potenciales yacimientos de petróleo y gas natural de manera subterránea o submarina por medio de estudios sísmicos. En esta se establece un contrato entre el Estado y las compañías, determinando el compromiso entre las partes.
	Etapa 2. Perforación	Sí el potencial de hidrocarburos es viable, se procede a la perforación de los pozos exploratorios por medio de una torre de perforación, la cual se encarga de traer a la superficie el petróleo o el gas natural para realizar la producción.
	Etapa 3. Producción	Consiste en la extracción de las reservas probadas en la etapa exploratoria y de perforación. La producción busca extraer una mezcla de líquidos y gases, que deben ser separados, tratados y transportados a las refinerías. Durante la producción, el pozo debe someterse frecuentemente a procesos de mantenimiento y reacondicionamiento para garantizar su óptima producción tanto económica como en volumen.
DOWNSTREAM	Etapa 4. Refinación	Transformación del petróleo por medio del proceso de destilación o separación física del petróleo crudo, y luego a procesos químicos que permite la extracción de sus componentes. De esta extracción se obtienen petroquímicos y combustibles (gasolina, ACPM, disolventes)
	Etapa 5. Transporte	Transporte desde la boca de pozo hasta los sitios de almacenamiento y procesamiento, como son las estaciones de bombeo, refinerías y centros de comercialización. El medio de transporte de los hidrocarburos se realiza a través de oleoductos (petróleo), gasoductos (gas), carrotaques y buques.
	Etapa 6. Comercialización	Los productos transformados se comercializan a los diferentes usuarios nacionales y extranjeros. Normalmente, es a través de distribuidores mayoristas o minoristas, y los productos comercializados son veneno, gasolina, lubricantes, queroseno, neumáticos, detergentes, gas natural, etc.

Fuente: elaboración Propia con base en ANH (2018)

5.2.2. Factores que influyen en los proyectos de hidrocarburos

El sector de hidrocarburos contribuye a la economía mundial y en gran medida a la economía colombiana, como uno de los sectores más importantes, al considerar las ventajas como los avances tecnológicos y su aporte a los ingresos del país. Es un sector cuyo crecimiento se basa

principalmente en la ejecución de proyectos. El desarrollo y gestión de un proyecto de hidrocarburos consta de diferentes fases, tales como: (1) evaluación; (2) diseño (3) planificación; (4) ejecución y operación y (5) fase de control (El-Reedy, 2016).

El tipo de proyecto que se realiza, su magnitud en costo y duración depende de la etapa del sector donde se esté desarrollando, Upstream o Downstream. Es así como un proyecto bajo el negocio de exploración puede tener una duración de entre 5, 10 o hasta más de 20 años, dependiendo de varios factores, tales como: la existencia de estudios sísmicos y la obtención de licencias dependiendo si son proyectos de exploración y perforación en tierra firme o en el mar (Arrieta & Díaz, 2017).

Los proyectos en etapas de producción de hidrocarburos dependen de la naturaleza de los hallazgos en cuanto al tipo de hidrocarburo encontrado, las reservas esperadas, las condiciones ambientales y laborales del lugar de producción, entre otras. Por su parte, los proyectos en las etapas de transporte y refinación, presentan condiciones más estables que las etapas iniciales de la CPH, debido a una menor incertidumbre en cuanto a planeación de tiempo y costos (Arrieta & Díaz, 2017).

Así mismo, el contexto en el que se desarrollan los proyectos está afectado por factores de riesgo que pueden determinar la factibilidad de los proyectos de inversión del sector y la complejidad de los requerimientos necesarios para poder mitigar o evitar la materialización de los riesgos (Arrieta & Díaz, 2017; López & Montes, 2013). Los principales riesgos a los que se encuentra expuesta la CPH son:

1. **Riesgos Cambiario:** las fluctuaciones del tipo de cambio son un riesgo en el desarrollo de los proyectos del sector, dado que estos se financian primordialmente con ingresos en moneda extranjera. Es un riesgo de alto nivel, donde su mitigación debe ser planeada con coberturas para evitar pérdidas significativas y permitan una mayor eficiencia de tiempo y costo en los procesos (Arrieta & Díaz, 2017).
2. **Riesgos Operativos:** relacionado con los procesos de exploración. Son procesos de alta incertidumbre e implican altas inversiones, se deben gestionar contratos y empleo óptimo de los recursos. Además, a este riesgo están relacionados los ataques terroristas o conflictos internos (López & Montes, 2013).
3. **Riesgos legales y políticos:** los proyectos y actividades deben ser planeados teniendo en cuenta las legislaciones vigentes y la regulación a nivel contractual para los proyectos en cualquier etapa del sector (Arrieta & Díaz, 2017).

Así pues, en la planeación de los proyectos es vital mitigar riesgos para llevar a cabo el alcance del proyecto de manera óptima. El desarrollo de cronogramas (duraciones y asignación de recursos), indica una línea de ejecución que puede ser optimizada y por esta razón los riesgos deben ser tenidos en cuenta durante la planeación para hacer frente a cada riesgo antes de ejecutar algún recurso.

5.2.2.1. Marco Institucional

La CPH en Colombia está bajo un marco legal y administrativo donde el Ministerio de Minas y Energía (MME) es la entidad pública de nivel superior que tiene como objetivo la administración de los recursos naturales no renovables de la nación. La Dirección de Hidrocarburos del MME se encarga de proyectar los planes, programas y proyectos de desarrollo del sector de hidrocarburos, en concordancia con el Plan Nacional de Desarrollo. Dentro de sus tareas se encuentra la

preparación de reglamentos técnicos, la regulación del transporte de crudos, el diseño de mecanismos para la distribución de combustibles y el seguimiento a las concesiones de áreas de servicio exclusivo de gas natural (MME, 2019).

Por otro lado, adscrita al MME se encuentra la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) con autonomía administrativa, técnica y financiera, encargada de la administración integral de la producción y reservas de hidrocarburos en Colombia. Esta entidad tiene el deber del manejo de los contratos de asociación o de concesión de exploración y producción petrolera en Colombia (ANH, 2018).

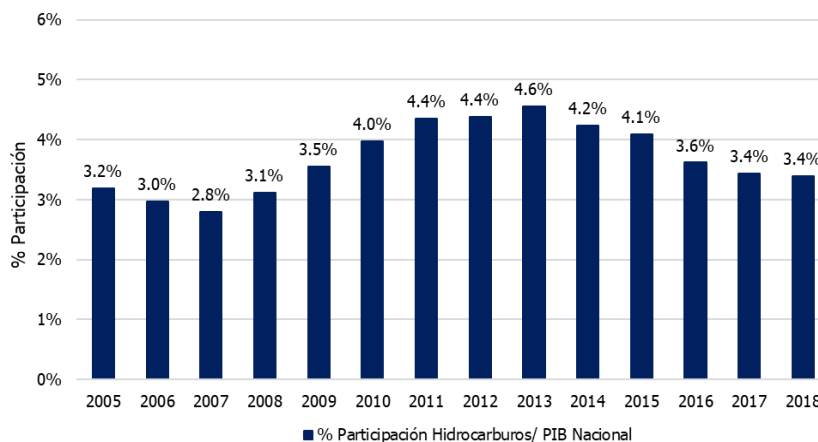
5.2.3. Sector de los hidrocarburos en la economía colombiana

A continuación, se encuentran variables de tipo macroeconómico que describen la evolución del sector de hidrocarburos en Colombia, evidenciando su relevancia para la economía del país.

5.2.3.1. Producto Interno Bruto

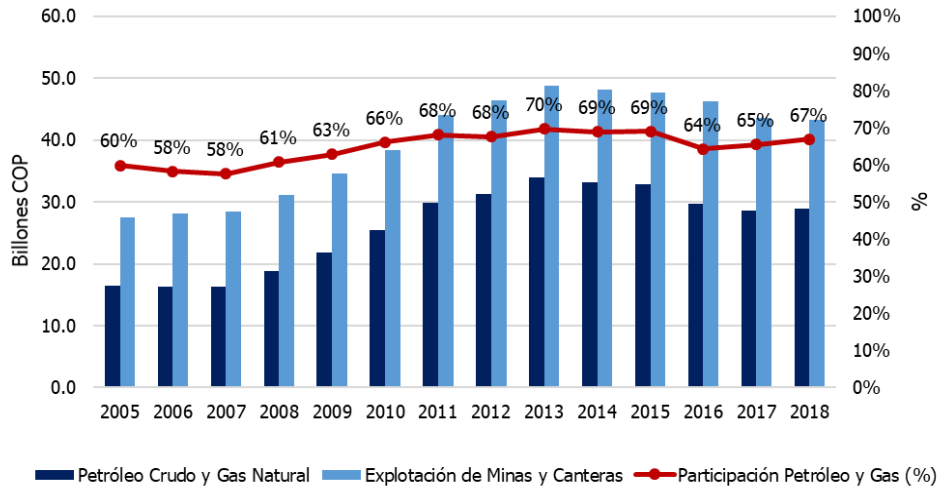
Según el DANE, (2018) y el informe de la Asociación Colombiana de Petróleo (ACP, 2018) el aporte del sector hidrocarburos sobre el PIB de Colombia se encuentra para el período 2005-2018, en promedio en 3.8% (ver Ilustración 5). Dentro de las ramas de actividades económicas que componen el PIB se encuentra la rama de Explotación de Minas y Canteras en la cual los hidrocarburos representan alrededor del 65%. consolidándose como el sector dominante dentro de esta rama económica (ver Ilustración 6).

Ilustración 5. Participación del Sector Hidrocarburos en el PIB



Fuente: elaboración propia con base en ACP (2018) y DANE (2018)

Ilustración 6. Participación de los Hidrocarburos en la Rama Minas y Canteras

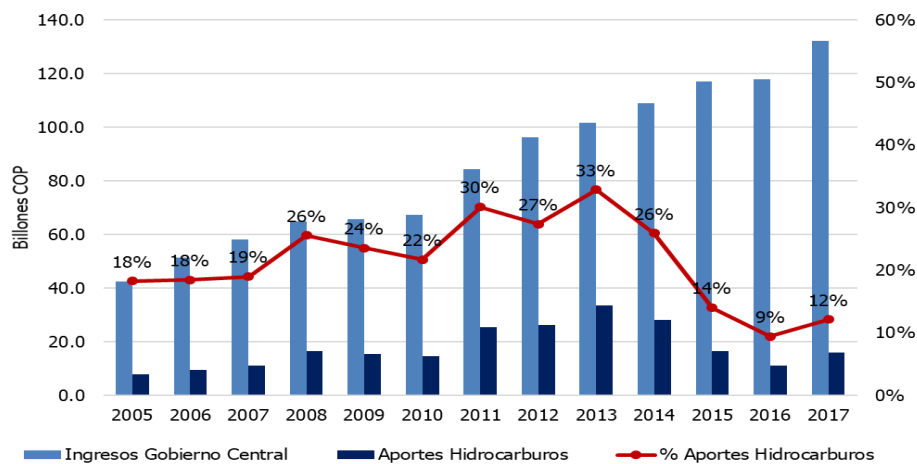


Fuente: elaboración propia con base en ACP (2018) y DANE (2018)

5.2.3.2. Aportes a los ingresos del Estado Colombiano

El sector de hidrocarburos tiene una gran importancia sobre las finanzas del país, debido a la incidencia de las actividades de hidrocarburos sobre los ingresos corrientes del Estado colombiano (ver Ilustración 7). Según el informe estadístico de la ACP (2018) entre el 2005-2017 los ingresos petroleros aportaron, en promedio el 21% de los ingresos corrientes en Colombia, dichos aportes están desagregados en impuestos (9% del total ingresos), dividendos de Ecopetrol (6%) y regalías (6%).

Ilustración 7. Aporte del Sector Hidrocarburos en los Ingresos del Gobierno Colombiano



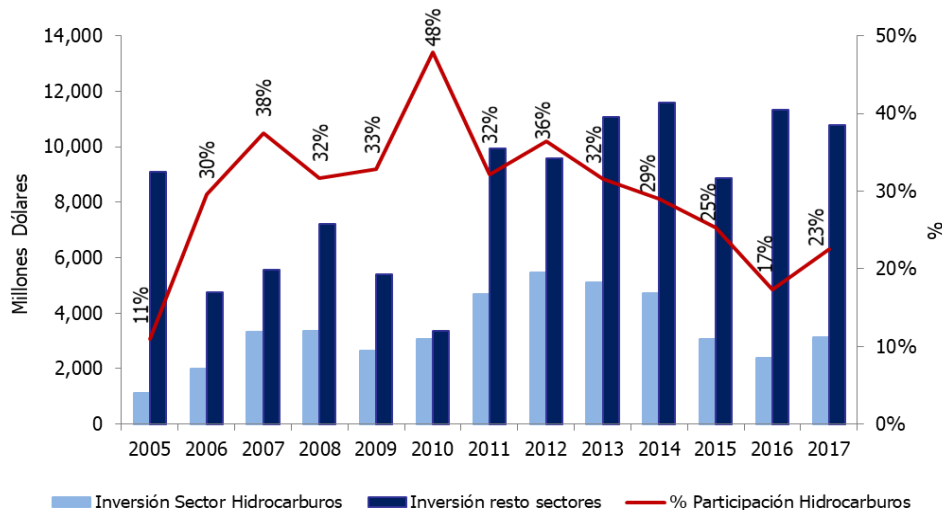
Fuente: elaboración propia con base en ACP (2018) y DANE (2018)

5.2.3.3. Inversión Extranjera Directa

Un factor que ha aportado al crecimiento económico del país, es la inversión extranjera directa (IED), entendida como un flujo de capitales de inversión extranjera de largo plazo para desarrollo

de proyectos y operaciones en el sector. El Banco de la Republica de Colombia (2018) reportó que la IED en proyectos del sector de hidrocarburos, registró una participación promedio del 30% para el periodo 2005-2017 (ver Ilustración 8).

Ilustración 8. Inversión Extranjera Directa en Hidrocarburos



Fuente: elaboración propia con base en ACP (2018) y DANE (2018)

5.2.4. Sector a Nivel Mundial

Como se mencionó, el sector de hidrocarburos se compone por compañías que exploran, desarrollan y operan campos de petróleo y gas natural. Es considerado como uno de los sectores más grandes en términos de valor económico a nivel mundial y aporta en gran medida al Producto Interno Bruto (PIB) de los diferentes países. En 2017, se estimó que representaba entre 2% y 3% del PIB en la economía mundial (BP, 2018).

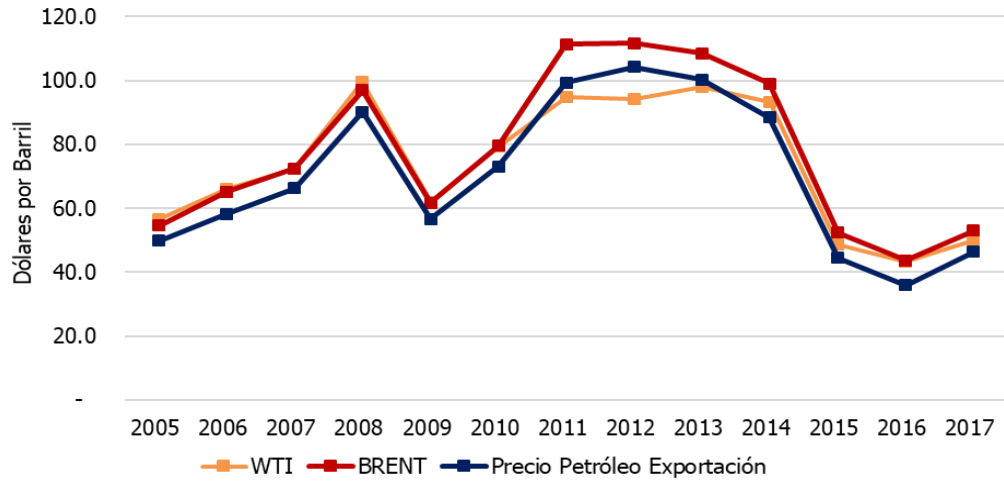
Adicionalmente, el petróleo y el gas natural siguen siendo las principales fuentes de energía en el mundo. Es así, como los hidrocarburos proporcionan aproximadamente la mitad de la energía del mundo actual (BP, 2018) y de acuerdo con los objetivos del cambio climático del mundo, seguirán siendo necesarios para satisfacer entre el 48% y el 53% de la demanda energética hasta el año 2040 (Cabeza, Palacios, Serrano, Üрге-vorsatz, & Barreneche, 2018).

Según el informe de BP (2018) a nivel de producción y reservas de petróleo en el mundo, se destacan principalmente Medio Oriente, América Central y del Sur y Norte América. Así mismo, en reservas de gas de natural, Medio Oriente es la principal fuente de reservas del mundo. También indica que el consumo y la producción de hidrocarburos han tenido una tendencia creciente desde 1992 hasta 2017, aumentando alrededor del 50%.

En los últimos años (2017-2018) se ha llegado a una estabilidad en el sector de hidrocarburos, debido a que los precios internacionales del petróleo se mantienen alrededor de 50 dólares por barril (ver Ilustración 9). Adicionalmente, la evolución de las industrias y el análisis de expertos del informe de BP (2018) indican una perspectiva de crecimiento con una marcada tendencia al

alza, debido a la proyección del incremento de la demanda mundial y la estabilización de precios de los hidrocarburos.

Ilustración 9. Evolución Precios Internacionales del Petróleo



Fuente: elaboración propia con base BP, (2018)

6. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se abordaron diferentes investigaciones realizadas sobre soluciones al problema RCMPSP haciendo énfasis en los supuestos teóricos en los cuales se basa el *software* ECI-RCMPSP para su funcionamiento (ver ANEXO 1). Esto con el fin de identificar las variables (tanto del modelo utilizado por el software como las extensiones de otros modelos) para el diseño del instrumento de medición de la presente investigación, con el cual se contrastó la realidad de multiproyectos de las grandes empresas de la ciudad de Bogotá en el contexto de los sectores de la construcción y los hidrocarburos.

Este capítulo se divide por los siguientes constructos: ambiente multiproyectos, plan de gestión del cronograma, recursos y modelo RCMPSP. Cada constructo está compuesto por un conjunto de variables extraídas de las investigaciones consultadas. Por último, se abordaron investigaciones acerca del problema RCMPSP que utilizaron un instrumento de medición como metodología para obtener sus resultados.

6.1. CONSTRUCTOS Y VARIABLES IDENTIFICADAS

En la Tabla 4 se presenta un resumen de los constructos y las variables abordadas en el marco teórico y que fueron la base para el diseño del instrumento de medición descrito en el siguiente capítulo de metodología.

Tabla 4. Constructos y variables

Constructo	Variable	Investigaciones
Ambiente Multiproyectos (numeral 6.2)	Multiproyectos (numeral 6.2.1)	Conjunto de proyectos que se planean y ejecutan de forma simultánea y comparten recursos (Yang & Fu, 2014)
	Cantidad de Proyectos Simultáneos (numeral 6.2.2)	Cantidad L de proyectos compuesto cada uno por un conjunto de N actividades (Yassine & Browning, 2010)
	Estimaciones (numeral 6.2.2)	Cada actividad tiene asociado recursos y tiempos estimados dependiendo la técnica utilizada por las organizaciones (Yassine & Browning, 2010). A su vez, los tienen costos asociados.
	Proyectos dependientes (numeral 6.2.2)	El resultado final de un proyecto depende de las actividades de otro proyecto programado y ejecutado en simultáneo (Aristizabal et al., 2017)
	Ambiente de Programación (numeral 6.2.3)	En las organizaciones pueden existir dos tipos de ambientes en la programación de multiproyectos: ambiente dinámico y ambiente estático. En el primero se permite la entrada de nuevos proyectos a la programación y el segundo se mantiene como un conjunto de proyectos cerrado como lo toma el <i>software</i> ECI-RCMPSP (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017; Beşikci et al., 2014; Kang & Hong, 2007)
Actividades (numeral 6.3)	Programación (numeral 6.3.1)	La programación es la secuencia de actividades con una asignación de recursos y tiempos para terminación de los proyectos (Chaparro & Castañeda, 2015)
	Técnica de Programación (numeral 6.3.1)	Debido a la complejidad del problema RCMPSP conocido como un problema <i>NP-hard</i> , el uso de técnicas de programación tradicionales (PERT y CPM) no es factible y por tanto se han desarrollado diferentes métodos heurísticos, metaheurísticos, híbridos, matemáticos para la solución al problema RCMPSP (Chaparro & Castañeda, 2015; Chen,

Constructo	Variable	Investigaciones
		Demeulemeester, Bai, & Guo, 2018; Fink & Homberger, 2015; Kimms, 2001; Pérez, Posada, & Lorenzana, 2016; Vanhoucke, 2018; Villafáñez et al., 2018; Z. Zhang & Chen, 2018)
	Duración (numeral 6.3.2)	En la programación de proyectos cada actividad debe contar con una duración estimada, la cual puede ser de tipo determinística o estocástica (probabilística). La primera se basa en estimaciones análogas y paramétricas y la segunda en estimaciones de tres puntos teniendo en cuenta la incertidumbre. (Afruzi et al., 2018; Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017; Browning & Yassine, 2010; Sonmez & Uysal, 2014; Wang et al., 2017; Yang & Fu, 2014)
	Relación de Precedencia (numeral 6.3.3)	Las actividades están ordenadas bajo una secuencia lógica de dependencias y es una de las principales restricciones en los modelos de optimización de proyectos (Browning & Yassine, 2010; Morillo et al., 2015; Vanhoucke, 2018; Vanhoucke & Coelho, 2018; Yang & Fu, 2014).
	Ruta Crítica (numeral 6.3.4)	Representa la secuencia de actividades predecesoras o sucesoras que tardaran más tiempo en completarse y por tanto es el tiempo mínimo de terminación de un proyecto. El problema RCMPSP puede ser abordado bajo dos enfoques de ruta crítica: simple, existe solo una ruta crítica para todo el multiproyecto y el enfoque multiproyecto, donde cada proyecto tiene su ruta crítica (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017; Confessore, Giordani, & Rismondo, 2007; Fink & Homberger, 2015; Kurtulus & Davis, 1982; Pritsker, Lawrence, & Wolfe, 1969; Villafáñez et al., 2018; Yassine, Mostafa, & Browning, 2017).
Recursos (numeral 6.4)	Tipo de Asignación (numeral 6.4.1)	Los modelos se basan en el enfoque centralizado y descentralizado. En el primero un único agente decide la programación para todos los proyectos enfocado en la optimización de objetivos globales. El segundo, considera varios agentes de decisión para la asignación de recursos y permite optimización de objetivos individuales a cada proyecto (Adhau et al., 2012; Amaya et al., 2018; Araúzo et al., 2010; Aristizabal et al., 2017; Confessore et al., 2007; Kurtulus & Davis, 1982; Pajares & López, 2014; Pritsker et al., 1969; Z. Zhang & Chen, 2018).
	Recursos Globales (numeral 6.4.2)	En los modelos existen dos tipos de recursos: los recursos globales están disponibles para todos los proyectos del portafolio y en estos se presenta el problema de restricción de recursos. Los recursos locales, están a disposición exclusiva de cada gerente de proyecto (Adhau et al., 2012; Lova & Tormos, 2001; Villafáñez et al., 2018).
	Tipo de Recursos (numeral 6.4.3)	Existen diferentes tipos de recursos según su naturaleza origen capacidad y posibilidad de reutilización. Los principales recursos de los modelos para la solución al problema RCMPSP son los recursos de tipo renovable y no renovable. Donde los renovables están disponibles en cada momento del tiempo con toda su capacidad y los no renovables se agotan durante la ejecución de las actividades de los proyectos (Hartmann & Briskorn, 2010; Kolisch et al., 1995).
	Tiempo de Transferencia (numeral 6.4.4)	Tiempos de holgura entre actividades de los proyectos que se pueden requerir para la preparación o desplazamiento de un recurso compartido entre actividades (Amaya et al., 2018; Krüger & Scholl, 2009; Mika et al., 2008; Sonmez & Uysal, 2014).
Modelo RCMPSP (numeral 6.5)	Medida de Desempeño (numeral 6.5.1)	Los modelos evalúan el desempeño a través de funciones objetivo las cuales deben ser maximizadas o minimizadas enfocada en duraciones, costos o una combinación de las dos (Achuthan & Hardjawidjaja, 2002; Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017; Browning & Yassine, 2010; Chen et al., 2018; Dodin & Elimam, 2001; Fink & Homberger, 2015; Krüger & Scholl, 2009; Lawrence, Olin, & Morton, 1993; Lova & Tormos,

Constructo	Variable	Investigaciones
		2001; Nudtasomboon & Randhawa, 1997; Phruksaphanrat, 2014; Xu & Feng, 2014).
	Regla de Prioridad (numeral 6.5.2)	Es uno de los principales métodos para desarrollar modelos para encontrar soluciones al problema RCMSPP y se entiende como un criterio que asigna un valor a cada actividad para la toma de decisiones en la programación. La prioridad se clasifica según se base en los proyectos, las actividades, los recursos y una prioridad compuesta (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017; Brucker, Drexl, Rolf, Pesch, & Neumann, 1999; Chakraborty, Sarker, & Essam, 2016; Chen et al., 2018; Kanagasabapathi & Rajendran, 2009; Kolisch et al., 1995; Singh, 2014; Vázquez, Calvo, & Ordóñez, 2013).

Fuente: elaboración propia.

6.2. AMBIENTE MULTIPROYECTOS

El constructo de ambiente multiproyectos reúne aspectos generales y básicos del problema RCMPSP. Define qué es un multiproyecto, los elementos de lo componen y el ambiente organizacional bajo el cual se realiza la programación de los multiproyectos en las organizaciones.

6.2.1. Multiproyectos

Los multiproyectos son la estructura básica en la cual surge el problema RCMPSP. Yang & Fu (2014) lo definen como un portafolio de proyectos compuesto por un conjunto de proyectos que se planean y ejecutan en simultaneo y tienen las siguientes características: los proyectos inician al mismo tiempo, las actividades requieren de al menos un recurso compartido y tienen un tiempo determinístico de duración, no hay posibilidad de interrumpir el desarrollo de las actividades lo que se conoce como *preemption*, los recursos compartidos son renovables y cada actividad no puede empezar si sus actividades predecesoras no hayan terminado.

6.2.2. Cantidad de proyectos, estimaciones y dependencia de multiproyectos

Yassine & Browning (2010) a través de un modelo matemático, definen el ambiente multiproyectos como una cantidad de L proyectos $l = \{1, 2 \dots L\}$, cada uno de los cuales tiene un conjunto de N actividades $i = \{1, 2 \dots N\}$. A su vez, los multiproyectos tienen tipos de recursos globales renovables $rk = \{1, 2 \dots K\}$, con capacidades de uso (Rk) los cuales son estimados dependiendo de la técnica utilizada por las organizaciones. Las actividades de cada proyecto tienen unos atributos descritos por: una estimación de duración determinística d_{jl} , relaciones de precedencia entre actividades de un mismo proyecto definidas como final comienzo (F-C), un requerimiento para cada tipo de recurso r_{jlk} y una fecha límite de entrega (due date) dd_{jl} .

Los anteriores planteamientos pueden ser resumidos como se muestra en la Ilustración 10

Ilustración 10. Modelo Básico RCMPSP

- *Proyectos:* $l = \{1, 2 \dots L\}$
- *Actividades:* $j_i = \{1, 2 \dots N\}$
- *Tipos de Recursos:* $r_k = \{1, 2 \dots K\}$
- *Capacidad de Recursos:* $R_k = \{1, 2 \dots R_k\}$
- *Actividades* j_i $\left\{ \begin{array}{l} \text{Duración determinística } d_{jt} \\ \text{Relaciones de precedencia } FC \\ \text{Requerimientos de recursos } r_{jlk} \\ \text{Due date (Ruta crítica) } dd_{jt} \end{array} \right.$
- Optimizar medida de desempeño
 $Min/Max(FT_{1,1}, \dots, FT_{j,L})$
- Sujeto a:
 - Restricciones de precedencia
 - Restricciones de recursos
 - Tiempos de finalización no negativos
- Supuestos del modelo:
 - Unimodal
 - Ambiente estático
 - Inicio de todos los proyectos $t=0$
 - Proyectos independientes
 - No hay tiempos de transferencia
 - Recursos renovables globales
 - No *preemptions*
 - Asignación centralizada de recursos

Fuente: elaboración propia con base en Aristizabal et al. (2017)

6.2.3. Ambiente de programación

En las organizaciones pueden existir dos tipos de ambientes en la programación de multiproyectos: ambiente dinámico y ambiente estático. Un ambiente dinámico se considera como un portafolio de proyectos abierto, es decir, mientras estos se ejecutan, nuevos proyectos pueden ser incluidos a los existentes y debe haber una reprogramación de recursos y tiempos (Amaya et al., 2018). Beşikci et al. (2014) realizaron una investigación enfocada en portafolios en un ambiente dinámico de programación, evaluando los costos ponderados de incluir, atrasar o adelantar un proyecto dentro del portafolio.

En esta misma línea, Kang & Hong (2007) centrados en un ambiente multiproyecto de las organizaciones caracterizado por la complejidad, la incertidumbre y el comportamiento dinámico de la programación de incluir o rechazar proyectos en tiempo real, utilizaron un Modelo de Secuenciación Dinámica (DMS) para modelar la reprogramación de actividades. El estudio concluye que la secuenciación dinámica muestra un mejor rendimiento que la secuenciación estática en cuanto a la duración media de multiproyectos, debido a que el modelo utilizado identifica las actividades cuellos de botella, equilibra el uso de los recursos y permite que éstos puedan compartirse eficientemente entre actividades de diferentes proyectos.

Contrario a lo anterior está el ambiente estático, donde la programación es establecida para un conjunto de proyectos cerrado, y no permiten la entrada o inclusión de nuevos proyectos en la programación y ejecución, lo cual es uno de los supuestos del problema RCMPSC utilizado para el *software* ECI-RCMPSP (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017).

6.3. ACTIVIDADES

En este constructo se encuentran variables referentes a la técnica y método empleado en la programación de actividades, el tipo de estimación de sus duraciones, las relaciones de

secuenciación que se pueden establecer entre estas y la identificación de aquellas actividades críticas dentro de los multiproyectos.

6.3.1. Programación y técnica de programación

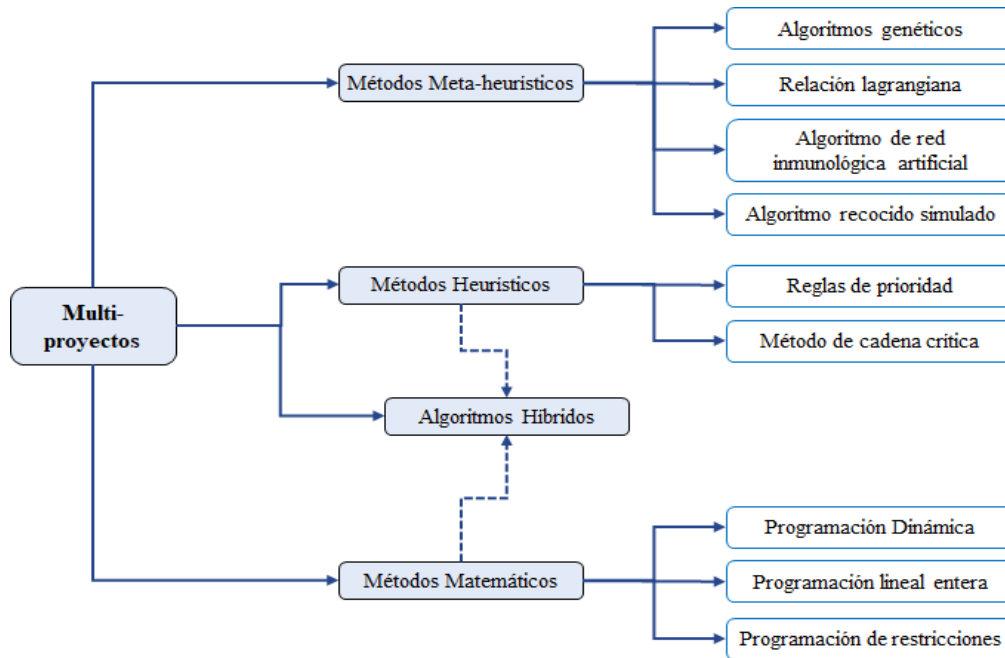
La programación es la secuencia de pasos para la terminación de los proyectos. Esto implica el hallazgo de inicio y final del tiempo para todas las actividades que conforma un multiproyecto, es decir, encontrar un cronograma que conduzca a la solución del problema RCMPSP. Esta solución debe tener en cuenta una serie de limitaciones, tales como relaciones de precedencia, restricciones temporales y de recursos, todo esto bajo un objetivo de programación que conlleve a la optimización (Chaparro & Castañeda, 2015).

En el contexto multiproyectos la complejidad de programación aumenta considerablemente dado que el problema RCMPSP es conocido como un problema *NP-hard*. Esto significa que existe una elevada complejidad para encontrar soluciones óptimas en el tiempo polinomial (Kimms, 2001) y no es factible desarrollar la programación de los proyectos mediante el uso de las técnicas de programación y optimización tradicionales de proyectos como PERT y CPM (Chen et al., 2018).

En consecuencia, diferentes autores desde la década del cincuenta han desarrollado varios métodos (heurísticos, metaheurísticos, híbridos, matemáticos) para la programación de multiproyectos (ver Ilustración 11), tales como: algoritmos de optimización de colonias de hormigas (Fink & Homberger, 2015), subastas combinatorias (Villafañez et al., 2018), algoritmos genéticos (Pérez et al., 2016) o sistemas multi agente (Z. Zhang & Chen, 2018).

Sin embargo, a pesar de la evolución y el avance a lo largo de los años en los estudios e investigaciones sobre el problema RCMPSP, su nivel de aplicabilidad y generación de beneficios reales para las industrias no se ha visto reflejada en la actualidad (Vanhoucke, 2018) donde los entornos económicos y organizacionales cada vez son más competitivos y exigentes.

Ilustración 11. Métodos de Solución al Problema RCMPSP



Fuente: elaboración propia con base en Chaparro & Castañeda (2015)

6.3.2. Duración

Para la programación de multiproyectos cada actividad debe contar con una duración estimada. En el modelo básico RCMPSP esta duración es de tipo determinística, es decir, se asigna un valor único de tiempo a cada actividad (Browning & Yassine, 2010; Sonmez & Uysal, 2014; Yang & Fu, 2014). La duración de tipo determinística para las actividades de un multiproyecto está basada principalmente en una estimación de tipo análoga o de tipo paramétrica, la primera se basa en experiencias de proyectos anteriores (análogos o similares) que sirven como referencia, mientras la paramétrica consiste en una estimación, como su nombre lo indica, utilizando parámetros de datos estadísticos.

Sin embargo, durante la ejecución de un proyecto, pueden producirse retrasos que no se estiman en el cronograma inicial debido a riesgos y factores de tipo interno o externo que afectan las duraciones de las actividades (Afruzi et al., 2018). Por tanto, la programación se debe basar en un cronograma robusto en el que se tenga presente la incertidumbre. Esto se puede lograr a través de la estimación de duraciones con la técnica de tres puntos, es decir, escenarios optimistas, pesimista, y más probable.

Afruzi et al. (2018) plantean que, debido a los riesgos, a los cambios por priorización de proyectos o actividades, a la asignación de recursos y los factores externos que afectan la singularidad de la programación de los multiproyectos, la función de distribución de probabilidad de duraciones de los proyectos no puede estimarse con confianza. En su modelo implementan un algoritmo de incertidumbre en diferentes escenarios, donde la programación del cronograma se anticipe a los posibles eventos y de como resultado soluciones óptimas para el RCMPSP.

Wang et al. (2017) exponen que la mayoría de las investigaciones estudian el problema de la programación de varios proyectos con recursos limitados en un entorno determinístico, independientemente de la naturaleza de incertidumbre. Los autores exploran principalmente el desempeño de las reglas de prioridad para la solución del problema RCMPSP con duraciones de las actividades con incertidumbre.

En contra posición Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017) desarrollaron el *software* ECI-RCMPSP con un enfoque de duración determinista, donde cada duración de las actividades tiene un único valor asignado para la programación con recursos restringidos.

6.3.3. Relación de precedencias

Para la programación de multiproyectos debe existir un tipo relación de precedencias. Browning & Yassine (2010) y Yang & Fu (2014) indican que las actividades están ordenadas bajo una secuencia lógica de dependencias, y es una de las principales restricciones expuestas en los modelos de optimización de proyectos como menciona Morillo et al. (2015). En el modelo básico RCMPSP la secuenciación de actividades es a través de la relación fin a comienzo (FC). Esta relación indica que una actividad no puede iniciar hasta que su actividad predecesora haya terminado y es la relación de precedencia tradicional en los modelos para la programación de proyectos (Vanhoucke, 2018).

Sin embargo, Vanhoucke & Coelho (2018) exponen que existen extensiones en las relaciones de precedencia con el fin de agregar flexibilidad a la programación de los multiproyectos. Ejemplo de ello, Möhring, Skutella, & Stork, (2004) plantean restricciones bidireccionales, es decir, una actividad puede comenzar antes del final de otra actividad, o viceversa.

6.3.4. Ruta Crítica

La ruta crítica representa el conjunto o secuencia de actividades predecesoras/sucesoras que tardarán más tiempo en completarse y por tanto es el tiempo mínimo en terminar de un proyecto o del multiproyecto, donde cualquier retraso conlleva a tiempo y costos adicionales para la terminación (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017).

La forma más común de tratar con múltiples proyectos de acuerdo con Yassine, Mostafa, & Browning (2017), es a partir de dos enfoques: el enfoque de proyecto simple y de multiproyecto. En la primera, se agregan los proyectos en un “gran proyecto” con una sola ruta crítica, entendida esta como el conjunto de actividades que si se retrasan afectan directamente el tiempo de terminación del multiproyecto. En la segunda, se mantiene el problema como un conjunto de proyectos individuales, cada uno con su ruta crítica dando independencia al conjunto de proyectos que se ejecutan en simultaneo. Cada forma de abordar el problema puede llevar a un resultado distinto (Villafañez et al., 2018).

Kurtulus & Davis (1982) y Pritsker, Lawrence, & Wolfe (1969) se basa en un megaproyecto con una sola ruta crítica y los modelos descentralizados de Confessore, Giordani, & Rismondo (2007) y Fink & Homberger (2015) permiten mayor control de cada proyecto sobre su ruta crítica individual. Así mismo, uno de los objetivos de desempeño desarrollados por Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017) toma como referencia la fecha de terminación tardía de acuerdo al cálculo de la ruta crítica del proyecto y busca minimizar el máximo retraso dentro de las actividades de

todos los proyectos (*Program maximun lateness*). Lo anterior hace necesario contar con la identificación de la ruta crítica de los proyectos como requisito para la optimización de la programación.

6.4. RECURSOS

Este constructo se compone del conjunto de variables que hacen referencia a las características de asignación, restricciones y tipo de recursos que se pueden encontrar en las organizaciones en la programación y ejecución de multiproyectos.

6.4.1. Tipo de Asignación

En la literatura consultada existen dos enfoques para abordar el problema RCMPSP respecto al tipo de asignación de recursos. Estos enfoques se conocen como los centralizados y descentralizados.

Tradicionalmente, el problema RCMPSP se resuelve asumiendo una toma de decisiones centralizada. El enfoque centralizado (C-RCMPSP) fue introducido por Kurtulus & Davis (1982) y Pritsker et al. (1969) y tomado en cuenta por Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017). De acuerdo con este enfoque, un único agente decide la programación para todos los proyectos. Por lo tanto, los métodos centralizados funcionan bien para la optimización de los objetivos globales en el conjunto de proyectos, tales como la minimización del tiempo total de los proyectos, conocido como *makespan*. Los modelos con el enfoque C-RCMPSP llevan al problema RCMPSP como un megaproyecto equivalente con una sola ruta crítica.

El segundo enfoque el descentralizado (D-RCMPSP), considera varias entidades o agentes de decisiones independientes: una para cada proyecto y otro para el portafolio (Confessore et al., 2007). Este enfoque no sólo permite la aplicación de un criterio de optimización global del portafolio, como en el caso C-RCMPSP, sino que también permite un criterio de optimización para cada proyecto y así mantener un control sobre su propia ruta crítica en el proceso de programación basados en diferentes objetivos de programación (Fink & Homberger, 2015). En la práctica, según Zhang & Chen (2018) las funciones de asignación y programación de recursos se realizan de manera descentralizada, dado que tiene ventajas en la coordinación y equidad entre multiproyectos y es más realista.

Adhau et al. (2012) proponen un sistema multi-agente descentralizado a fin de asignar y transferir recursos basado en negociación de los diferentes gerentes de proyectos por los recursos compartidos (recursos globales). Los autores resaltan la ventaja de la descentralización administrativa y de información que garantiza la mejora de la utilización de equipos de proyectos, planificación y minimiza el número de transferencias de recursos.

Araújo et al. (2010) exponen un modelo descentralizado donde los diferentes agentes que intervienen en el multiproyecto negocian de acuerdo con determinados regímenes, y el resultado de esta interacción proporciona un rendimiento aceptable del sistema. El objetivo del gerente de proyecto es encontrar intervalos de tiempo de los recursos necesarios para completar todas las tareas necesarias, tratando de incurrir en el costo mínimo posible. Para ello, usa un algoritmo de programación dinámica, donde son considerados todos los posibles intervalos de tiempo y recursos.

Por medio de este mecanismo de negociación, los intervalos de tiempo de los recursos son valorados y se utilizan como pautas de decisiones de planificación y control.

Por otro lado, Pajares & López (2014) proponen un modelo basado en un tipo de asignación mixta. En las organizaciones hay administrador de los recursos que tiene el control, cuyo objetivo es incrementar en nivel de ocupación e ingreso y juega un papel de naturaleza centralizada a través de monitorear el desempeño de las actividades mediante el uso de recursos y actúa como subastador. Mientras el director del proyecto es un agente de tipo descentralizado y asigna los recursos obtenidos entre las actividades de su único proyecto.

6.4.2. Recursos Globales

El problema de restricción de recursos en multiproyectos se presenta sobre los recursos globales. Villafañez et al. (2018) menciona que los recursos son de tipo global y local, es decir, los primeros están disponibles para todos los proyectos del portafolio y los recursos locales están a disposición exclusiva para cada administrador de proyecto. Referente a modelos con recursos compartidos en el ambiente multiproyectos y/o portafolio se tiene autores como Adhau et al. (2012), Kurtulus & Davis (1982), Lova & Tormos (2001), Pritsker et al. (1969) y Villafañez et al. (2018). Este tipo de recursos, son empleados como input para el *software* ECI-RCMPSP.

6.4.3. Tipo de Recursos

El modelo básico RCMPSP parte del supuesto de que los recursos son renovables, es decir que están disponibles en cada momento del tiempo con toda su capacidad. Sin embargo, en la literatura científica, se encuentran diferentes tipos de recursos según su naturaleza y el campo en el que se desarrolle el proyecto (finanzas, construcción, sostenibilidad, programación, hidrocarburos), el origen de los recursos (humanos o materiales), la posibilidad o no de reutilización que tengan, la compatibilidad entre ellos y la divisibilidad. Según Hartmann & Briskorn (2010) y Kolisch et al. (1995) los recursos se pueden clasificar así:

6.4.3.1. Recursos Renovables

Son los utilizados en más de un proyecto, o en más de una ocasión dentro del mismo proyecto, no se consumen con el uso. Una muestra de este tipo de recursos pueden ser la mano de obra, la maquinaria, los equipos, etc. El uso de los recursos totales renovables está disponible en cantidades limitadas y constantes en cada periodo de la planificación total, o lo que es lo mismo, cada recurso renovable está disponible en una cierta cantidad constante por cada unidad de tiempo y su utilización no debe exceder esa cantidad en ninguna de esas unidades.

6.4.3.2. Recursos No Renovables

Son empleados en una única ocasión dentro de las tareas del proyecto, formando parte de los elementos que componen el producto final, es decir, se consumen durante la ejecución de las actividades a medida que se van utilizando. Una muestra clara de este tipo de recursos son materias primas. Se consideran que no son agotables, pero pueden estar restringidos a una determinada cantidad total para la completa realización del proyecto.

6.4.3.3. Recursos Doblemente Restringidos

Se ven limitados en cada periodo de tiempo y para todo el proyecto, y además tienen un consumo máximo permitido por periodo. Son una combinación de recursos renovables y no renovables, es decir, se restringen tanto en su disponibilidad por tiempo como los renovables y en su total acumulado para la totalidad del proyecto como los no renovables.

6.4.3.4. Recursos Continua o Discretamente Divisibles

Desde el punto de vista de la divisibilidad, existen dos tipos de recursos, los recursos que pueden ser continuamente divisibles (energía eléctrica, consumo de agua), o los discretamente divisibles, es decir, que se pueden asignar a las tareas en cantidades discretas a partir de un conjunto finito de asignaciones dado, como por ejemplo la mano de obra o la maquinaria.

6.4.3.5. Recursos Interrumpibles o No Interrumpibles

Un recurso es interrumpible cuando puede ser detenido para que un recurso de mayor prioridad pueda ser usado. En consecuencia, puede ser retirado de la tarea que se está procesando y puede ser asignado a otra y luego puede volver a la tarea anterior. Si no se puede detener es no interrumpible.

6.4.4. Tiempo de Transferencia

En el modelo básico RCMPSP, no se puede disponer de una cantidad de recurso mientras esté siendo empleado en una actividad que está en ejecución (Morillo et al., 2015). La teoría supone que, una vez terminada la actividad, el recurso está inmediatamente disponible para la actividad siguiente (Amaya et al., 2018; Sonmez & Uysal, 2014).

Por otro lado, autores como Krüger & Scholl (2009) y Mika et al. (2008) sí consideran los tiempos de transferencia de recursos entre actividades. Entendidos como tiempos de holgura entre actividades de los proyectos, debido a que se puede requerir tiempo de preparación de un recurso (por ejemplo, maquinaria) antes de que se pueda iniciar una determinada actividad o que dicho recurso tenga que ser trasladado de un lugar geográfico a otro y no está disponible inmediatamente.

Mika et al. (2008) consideran dos tipos de tiempos de transferencia: los tiempos de transferencia independientes de la secuencia del cronograma, es decir, dependen solo de la actividad y del recurso en el que se realizará la actividad, y los tiempos de transferencia dependientes de la secuencia, es decir, dependen de la actividad previa ejecutada con el mismo recurso. Estos conceptos están integrados en un modelo RCMPSP. Los autores señalan que los tiempos de transferencia dependientes de la programación podrían capturarse agregando actividades ficticias con duraciones específicas para capturar dicho tiempo y así programar un cronograma más sólido.

Krüger & Scholl (2009) también generalizan el problema de programación multiproyecto incluyendo los tiempos de transferencia de los recursos (RCMPSPTT), y representan el conjunto de actividades necesarias cuando se retira un recurso de un proyecto y es reasignado a otro. Su objetivo es reducir al mínimo la duración de varios proyectos mediante el enfoque de un solo proyecto o la duración media de proyecto para el enfoque multiproyecto.

6.5. MODELO RCMPSP

En este constructo se encuentran las medidas de desempeño, entendidas como aquellas funciones objetivo que se minimizan o maximizan y las diferentes reglas de prioridad que son utilizadas por el *software* ECI-RCMPSP en su estructura de funcionamiento para encontrar soluciones al problema de programación con recursos restringidos.

6.5.1. Medida de Desempeño

Para evaluar el desempeño del método aplicado para encontrar una solución al problema RCMPSP es necesario tener una función objetivo, la cual debe ser minimizada o maximizada según sea el caso. A continuación, se presenta brevemente las principales funciones objetivo expuestas en la literatura, y fundamentalmente, las desarrolladas en fase 1 y fase 2 del presente trabajo de investigación (fase 3).

En las investigaciones enfocadas en el tiempo (duración) como función objetivo se encuentran la de Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017), quienes tomaron como base de su modelo de programación dicha función objetivo, bajo diferentes enfoques, lo cual según los autores, permitía evaluar la efectividad del modelo desarrollado. Otros autores que se enfocan en el tiempo como función objetivo para encontrar una solución al problema RCMPSP han sido Browning & Yassine (2010), Chen et al. (2018), Fink & Homberger (2015), Krüger & Scholl (2009), Kurtulus & Davis (1982), Lawrence, Olin, & Morton (1993) y Lova & Tormos (2001).

Por el lado de minimizar los costos, están autores como Achuthan & Hardjawidjaja (2002) y Dodin & Elimam (2001). Sin embargo, existen estudios donde se ha propuesto definir la función objetivo como la suma ponderada de todas las medidas de desempeño consideradas (Nudtasomboon & Randhawa, 1997; Phruksaphanrat, 2014; Xu & Feng, 2014).

6.5.1.1. Funciones Objetivo de Duración

En las fases previas a la presente investigación, Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017), tomaron como función objetivo, del modelo desarrollado, el tiempo (duración) bajo diferentes enfoques para evaluar el desempeño del mismo. Las funciones objetivo tomadas por los citados investigadores se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Medidas de Desempeño

MEDIDA DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
<i>Tiempo computacional</i>	Dentro del <i>software</i> desarrollado se deja como dato de salida el total de tiempo consumido en resolver la instancia.
<i>Program makespan</i>	Esta función mide el tiempo de duración total o finalización de todas las actividades del programa. Se busca minimizar el tiempo de finalización o <i>Finish time</i> (FT) de la última actividad (J) del último proyecto (L)
<i>Program mean flow time</i>	Mide el tiempo promedio de respuesta de los recursos para atender las actividades desde que se liberan (r_j) para ser procesadas hasta que son terminadas (FT j). Se busca minimizar el tiempo medio que dura una actividad en el sistema.

MEDIDA DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
<i>Program maximum lateness</i>	Representa el retraso de las actividades con respecto al periodo en el que debieron ser terminadas denominado <i>due day</i> (dj). Fecha de terminación tardía de acuerdo con el caculo de la ruta crítica del proyecto. Busca minimizar el máximo retraso dentro de las actividades de todos los proyectos
<i>Program mean lateness</i>	Representa el retraso promedio de las actividades del multiproyecto. Busca minimizar el promedio de los retrasos del multiproyecto
<i>Program total tardiness</i>	Representa el retraso total del multi- proyecto, es una medida del lateness y solo opera para valores positivos. Busca minimizar el total de retrasos de las actividades del multiproyecto.
<i>Program maximum tardiness</i>	Representa el máximo retraso de una actividad dentro del multiproyecto y busca minimizar este retraso máximo.
<i>Program mean tardiness</i>	Representa el retraso medio de todo el multi- proyecto, para su cálculo divide la tardanza total entre el número de actividades tardías. Busca minimizar la tardanza media del multi- proyecto.
<i>Program number of tardy projects</i>	Representa la cantidad de proyectos que están terminando tarde dentro del multi-proyecto. Busca minimizar la cantidad de proyecto que no terminan a tiempo
<i>Program number of tardy jobs</i>	Representa la cantidad de actividades que están terminando tarde dentro del multiproyecto. Busca minimizar la cantidad de actividades que no terminan a tiempo

Fuente: Amaya et al. (2018)

Chen et al. (2018) emplean la minimización de las tardanzas ponderadas, y Fink & Homberger (2015) discuten la minimización de la vida útil promedio de los proyectos, donde la duración de cada proyecto individual se define como su tiempo de finalización menos su fecha de inicio. Lawrence et al. (1993) estudian minimizar la tardanza ponderada de los multiproyectos en su conjunto. Lova & Tormos (2001) consideran diversas funciones objetivo tales como el retraso medio de cada proyecto y retraso ponderado del portafolio de proyectos. En las organizaciones es crucial cumplir con las fechas de finalización comprometidas, es así como Wang et al., (2017) consideran un intervalo de tiempo mínimo y máximo entre las actividades, donde la función objetivo del problema es minimizar la tardanza de cada proyecto.

Por otro parte, Browning & Yassine (2010) consideran una cartera de proyectos con recursos compartidos. Exponen un modelo matemático con cinco funciones objetivo diferentes: retraso total, retraso promedio, retraso porcentual promedio, retraso total de la cartera y retraso porcentual de la cartera. Todas las funciones objetivo buscan minimizar el retraso de diferentes maneras. Tres de ellos tienden a minimizar el retraso de cada proyecto por separado, mientras que los otros buscan minimizar el retraso de todo el portafolio.

6.5.1.2. Funciones Objetivo de Costos

Achuthan & Hardjawidjaja (2002) estudiaron minimizar los costos totales de un multiproyecto, relacionados con la duración de las actividades. Los autores enfatizan en que el proyecto debe finalizarse a más tardar en un plazo determinado y solo consideran los recursos renovables. Dodin & Elimam (2001) también investigaron minimizar los costos, enfocados principalmente en los costos de materiales y mantenimiento de inventarios, teniendo en cuenta la fecha de terminación de los multiproyectos y considerando un bono para la finalización anticipada dentro del margen de costos del proyecto o una penalización por la finalización tardía o desviación de costos.

Dentro de las funciones objetivo de costos se encuentra la estimación del valor presente neto (VPN) de un proyecto o de la cartera de proyectos. El VPN busca maximizar la utilidad de la organización y tener mayor viabilidad, particularmente financiera. Por tanto, el manejo de los flujos de efectivo de los proyectos es determinante, si la función objetivo del modelo es maximizar las ganancias de la organización de un conjunto de proyectos. Kimms (2001), Mika, We, & Walig (2005), Vanhoucke et al. (2016) señalan que las salidas de efectivo son inducidas por la ejecución de actividades y el uso de recursos y que las entradas de efectivo resultan de los pagos debido a la finalización de actividades y tareas específicas del proyecto.

6.5.1.3. Funciones Objetivo Basadas en la Reprogramación

Según Hartmann & Briskorn (2010), con esta función objetivo se considerara el caso de interrupciones y que se deba determinar una nueva programación. Este caso se refiere a menudo como programación reactiva. La reprogramación es necesaria si el proyecto ya está en ejecución, pero debido a eventos inesperados (por ejemplo, retrasos) el cronograma que se calculó antes del inicio del proyecto ya no es válido. En tal situación, las características del problema pueden haber cambiado: algunas actividades pueden estar ya terminadas y pueden ser ignoradas, algunas actividades pueden estar en progreso y la disponibilidad de recursos puede haber cambiado.

6.5.1.4. Funciones de Múltiples Objetivos

Los objetivos expuestos anteriormente fueron estudiados por los autores en un ambiente mono-objetivo, es decir, el método de solución tiene en cuenta una única función objetivo. Pero muchos de los problemas reales en las organizaciones requieren optimizar a la vez más de una función objetivo, es decir, buscar soluciones multi-objetivos. Se plantea una solución con dos funciones objetivo: por un lado, minimizar el costo y por otro minimizar el tiempo de terminación.

Varios autores han estudiado las funciones multi-objetivos, considerándolas como la suma ponderada de diferentes funciones objetivo. Nudtasomboon & Randhawa (1997), propusieron un método incluyendo varias funciones objetivo, como tardanza total, tardanza ponderada, nivelación de recursos y consumo de recursos no renovables. Wei-xin, Xu, Xian-long, & Lei (2014) presentaron un modelo considerando una función múltiple-objetivos para la programación de proyectos múltiples en las que se relacionó cuatro funciones objetivo: duración total, costo, calidad y robustez, con el fin de maximizar todas las cuatro funciones objetivo.

Phruksaphanrat (2014) aborda el problema de programación de múltiples proyectos con múltiples modos y con funciones multi-objetivos (MRCPSPP). La función objetivo del método para encontrar

una solución a MRCPSP es a menudo la minimización del *makespan*. Sin embargo, el autor indica que el tiempo y el costo deben ser considerados en simultáneo, con diferentes niveles de prioridades.

6.5.2. Reglas de Prioridad (PR)

La regla de prioridad (PR, por sus siglas en inglés) es un criterio (operación matemática) que asigna un valor a cada actividad de un conjunto de decisiones y permite decidir qué actividades realizar primero manteniendo el orden lógico de la red de programación (Amaya et al. 2018).

Las PR es uno de los métodos principales para desarrollar modelos que encentren soluciones al problema RCMPSP, ya que estas son fáciles de implementar, entender y rápidas en términos de esfuerzo computacional (Brucker et al., 1999). Varias PR se han probado y se pueden clasificar según la prioridad que se requiera: (1) basada en proyectos, (2) basada en actividades, (3) basada en recursos y (4) compuesta (Kolisch et al., 1995).

Dentro de los estudios que abordan la solución del problema RCMPSP con reglas de prioridad se encuentra a Kanagasabapathi & Rajendran (2009) quienes desarrollan un modelo de simulación para programar las actividades en los multiproyectos cuando los recursos son muy limitados a través de la selección de la regla de prioridad en situaciones específicas. La elección de la regla de programación depende del objetivo buscado. Como los objetivos cambian, la regla de programación en consecuencia cambia. Ninguna de las reglas siempre puede producir la mejor solución para todos los problemas en todo momento. Para superar esto en el modelo de simulación, el director del proyecto tiene que seleccionar entre reglas de prioridad para saber cuál es la más adecuada en la configuración de los proyectos de la organización.

Vázquez, Calvo, & Ordóñez (2013) presentan que las reglas de prioridad se usan ampliamente como una técnica de toma de decisiones útil para gerentes en proyectos únicos y múltiples con recursos limitados debido a su velocidad y simplicidad. Sin embargo, la cuestión de qué regla de prioridad usar ha sido discutida sin una guía concluyente. No hay ninguna regla que funcione mejor que cualquier otra en todos los casos. Por tanto, realizaron un análisis que se llevó a cabo con 34 reglas de prioridad en 26 instancias y se centraron en un algoritmo genético debido a su alto rendimiento en problemas de programación.

Singh (2014) propuso un algoritmo híbrido basado en PR y un proceso de jerarquía analítica (AHP). El rendimiento del cronograma de proyectos múltiples se midió en términos del período de transición y en términos de la desviación del costo total al comparar la duración real de los proyectos con la duración del camino crítico sin restricciones de recursos. Para definir la secuencia de actividades, solo se usaron PR.

Chakraborty, Sarker, & Essam (2016) consideran un problema de planificación de multiproyectos de recursos restringidos con dos objetivos de retraso: tardanza del proyecto y tardanza del portafolio. Para resolver el RCMPSP, proponen una heurística evolutiva de búsqueda local que utiliza un enfoque de vecindad variable (ELSH-VN). La heurística se analiza adicionalmente incorporando diferentes reglas de prioridad frente a las cuales se evalúa su rendimiento llevando a cabo un extenso análisis basado en simulación. Para el estudio experimental, consideraron un conjunto estándar de 77 instancias de prueba RCMPSP generadas de 20 actividades. El análisis

experimental indica que la heurística propuesta es capaz de resolver múltiples proyectos con una carga computacional razonable.

Chen et al. (2018) examinan el rendimiento de 17 heurísticas de reglas de prioridad y evalúan la eficacia en el conjunto de datos de simulación de referencia PSPLIB. Además, analizan el impacto de las características del proyecto que se utilizaron para crear este conjunto de datos simulados. Los resultados de la investigación pueden ayudar a los gerentes a programar las actividades del proyecto de manera más eficiente ante las incertidumbres.

Aristizabal et al. (2017) en la Fase 1 de la presente investigación, realizaron la identificación y análisis de métodos heurísticos basados en reglas de prioridad para la solución del problema *RCMPSP*, donde se seleccionaron 18 reglas de prioridad (ver Tabla 6) y se aplicaron a 14 instancias que comprenden diferente número de proyectos, actividades y recursos con algunas características como: actividad en nodo, duraciones determinísticas y recursos globales limitados, y como funciones objetivo: tiempo de duración total mínimo (TMS), retraso promedio del proyecto (APD) y tiempo computacional (Tc). Así mismo, desarrollaron un *software* para realizar las simulaciones con las medidas de desempeño escogidas y presentar un ordenamiento de las mejores reglas de prioridad.

Tabla 6. Reglas de Prioridad

No.	NOMBRE	SIGLA	BASE / DESCRIPCIÓN
1	Primera en llegar primera en servirse <i>(First Come First Served)</i>	FCFS	Basada en actividad Se programa primero la actividad que tenga el mínimo comienzo temprano <i>(Early Start)</i>
2	Duración más corta primero <i>(Shortest operation first)</i>	SOF	Basada en actividad Se programa primero la actividad que tenga la mínima duración
3	Duración más larga primero <i>(Maximum operation first)</i>	MOF	Basada en actividad Se programa primero la actividad que tenga la duración más larga
4	Holgura mínima <i>(Minimum Slack)</i>	MINSLK	Basada en actividad Se programa primero la actividad que tenga la holgura mínima
5	Holgura Máxima <i>(Maximum Slack)</i>	MAXSLK	Basada en actividad Se programa primero la actividad que tenga la holgura máxima
6	actividad más corta del proyecto más corto <i>(Shortest activity from shortest Project)</i>	SASP	Basada en actividad y proyecto Se programa primero la actividad que tenga la mínima duración y que pertenezca al proyecto que tenga la mínima duración de ruta crítica sin restricción de recursos.
7	actividad más larga del proyecto más largo <i>(Longest activity from longest Project)</i>	LALP	Basada en actividad y proyecto Se programa primero la actividad que tenga la máxima duración y que pertenezca al proyecto que tenga la máxima duración de ruta crítica sin restricción de recursos.
8			Basada en actividad y recursos

No.	NOMBRE	SIGLA	BASE / DESCRIPCIÓN
	Mínimo contenido de trabajo total <i>(Minimum total Work content)</i>	MINTWK	Se programa primero la actividad con menor contenido de trabajo, el cual se define como la cantidad de recursos que utiliza la actividad j del proyecto l más la cantidad de recursos utilizada por las actividades en trabajo del proyecto l.
9	Máximo contenido de trabajo total <i>(Maximum total Work content)</i>	MAXTWK	Basada en actividad y recursos Se programa primero la actividad con mayor contenido de trabajo
10	Fecha de entrega más temprana <i>(Earliest Due Date First)</i>	EDDF	Basada en actividad Se programa primero la actividad con el mínimo comienzo tardío o <i>late start</i> , para la actividad j del proyecto l
11	Ultima en llegar primera en servirse <i>(Last come first served)</i>	LCFS	Basada en actividad Se programa primero la actividad que tenga el máximo comienzo temprano o <i>early start</i> , para la actividad j del proyecto l
12	Mínimo final tardío <i>(Minimum late finish time)</i>	MINLFT	Basada en actividad Se programa primero la actividad que tenga el mínimo final tardío o <i>late finish time</i> para la actividad j del proyecto l
13	Contenido de trabajo total y tiempo de inicio tardío <i>(MAXTWK & earliest Late Start Time)</i>	TWK-LST	Basada en actividad y recursos Se programa primero la actividad con máximo contenido de trabajo total tal como en la regla 9 y en caso de empate se escoge la actividad con mínimo tiempo de inicio tardío.
14	Contenido de trabajo total y tiempo de inicio temprano <i>(MAXTWK & earliest early Start Time)</i>	TWK-EST	Basada en actividad y recursos Se programa primero la actividad con máximo contenido de trabajo total tal como en la regla 9 y en caso de empate se escoge la actividad con mínimo tiempo de inicio temprano.
15	Máximo total de sucesoras <i>(Maximum total Sucesora)</i>	MS	Basada en actividad Se programa primero las actividades que tengan mayor número de sucesoras
16	Máximo total de sucesores críticos <i>(Maximum critical sucesors)</i>	MCS	Basada en actividad Se programa primero las actividades que tengan mayor número de sucesoras críticas (holgura 0)
17	Prioridad dada por el usuario 1: prioridad por importancia de actividad <i>(Weight activity priority)</i>	WAPP	Basada prioridad de usuario El usuario puede dar prioridad a las actividades y luego se programa primero las actividades con mayor prioridad
18	Prioridad dada por el usuario 2: prioridad por importancia de proyecto. <i>(Weight project priority)</i>	WPP	Basada prioridad de usuario El usuario puede dar prioridad a los proyectos y luego se programa primero las actividades que pertenezcan al proyecto de mayor prioridad

Fuente: Amaya et al. (2018) y Aristizabal et al. (2017)

La mejor regla de prioridad en general, con la cual se lograron minimizar todas las medidas de desempeño fue MS (*Maximum Successors*). Esta regla de prioridad está basada en actividad, es decir, toma en cuenta los atributos de las actividades y no su uso de recursos. El óptimo comportamiento de esta regla de prioridad en todas las medidas de desempeño se debe a que al dar prioridad a las actividades que tienen mayor número de sucesoras, está indirectamente dando una prioridad por “transitividad” a todas las actividades que se encuentran a continuación en la red de secuenciación, disminuyendo la posibilidad de retrasos.

En la fase 2 de esta investigación Amaya et al. (2018) realizaron la combinación de dos y tres de reglas de prioridad (PR), aplicadas a instancias identificadas en la literatura científica, mediante la evaluación de medidas de desempeño, con el fin de presentar un ordenamiento de las mejores. Estas combinaciones se realizaron a partir de 19 reglas de prioridad, 14 instancias y 10 medidas de desempeño, utilizando el *software* desarrollado en la investigación adelantada por Aristizábal et al., (2017), donde obtuvieron resultados de todas las posibles combinaciones.

A partir, de los resultados arrojados por el *software* para cada una de las medidas de desempeño de las 86.184 combinaciones dobles y triples, realizaron un análisis de medias y un ranking global del cual obtuvieron las mejores combinaciones. Concluyeron que las combinaciones dobles y triples mejoran el desempeño en tiempo de los multiproyectos respecto a elección de las reglas individuales.

Finalmente, es importante mencionar que Vanhoucke & Coelho (2018) indican que la mayoría de las investigaciones tanto en reglas de prioridad, como los otros métodos de solución, se basan en las bases de datos de proyectos artificiales (PSLIB). Estas bases de datos son colecciones de las instancias de datos más conocidas y difundidas disponibles en la literatura para la construcción de un cronograma de referencia. Si bien estas bases de datos son una herramienta para el análisis de los métodos desarrollados en los estudios, no son el reflejo de la realidad y del contexto de proyectos en un sector económico específico.

6.6. Estudios Tipo Encuesta a Nivel Multiproyectos

Kannimuthu, Ekambaram, Raphael, & Kuppuswamy (2018) realizan un estudio para el sector de la construcción. El propósito del estudio de estos autores fue identificar los problemas y prácticas en la programación de multiproyectos en entornos de recursos sin restricciones y con restricciones desde la perspectiva del director o profesional de proyectos.

La metodología utilizada en el estudio de Kannimuthu et al. (2018) fue un instrumento de medición tipo encuesta, diseñada incluyendo cinco partes: primera, los desafíos enfrentados en la administración de un entorno de proyectos múltiples; segunda, los problemas y las prácticas sin restricciones de recursos; tercera, problemas y prácticas de recursos limitados; cuarta, diversos aspectos del entorno de multiproyectos, como los enfoques de modelado de redes, los modelos de toma de decisiones, los modos de ejecución de actividades, los conceptos de compartir, dedicar y sustituir recursos, métodos de solución, herramientas y técnicas; y quinta, se recogieron los datos demográficos del encuestado.

El análisis de los datos obtenidos por la encuesta identificó que los problemas más relevantes fueron los asociados con las variables (a) de decisión, (b) el entorno del proyecto, (c) la gestión del proyecto y (d) la organización. Una situación sin restricciones de recursos se enfrenta principalmente al problema de la subutilización y el desperdicio de recursos que conduce a una menor obtención de beneficios. Mientras, la situación de recursos limitados identificó los problemas de priorización de recursos, coordinación, comunicación, colaboración, problemas de calidad y reproceso. Los hallazgos sugirieron estrategias tales como la subcontratación, la planificación proactiva, la capacitación de la cultura de la organización hacia una mejor comunicación, coordinación y colaboración, para mejorar la confiabilidad de lograr los rendimientos de referencia del proyecto (Kannimuthu et al., 2018).

Frinsdorf, Zuo, & Xia (2014) identifican los factores de eficiencia de proyectos, mediante consulta de 20 expertos mediante la técnica Delphi. Las preguntas hechas a miembros claves de la gestión de proyectos dentro de la organización estaban enfocadas a la percepción de eficiencia de los proyectos, los factores clave que contribuyen o impiden la eficiencia a nivel de las organizaciones y la responsabilidad de las partes en la eficiencia de los proyectos.

Los principales resultados fueron que en las organizaciones no es suficiente centrarse simplemente en factores internos de los proyectos, por ejemplo, la claridad del objetivo del proyecto y el alcance y la integración entre los departamentos funcionales. También, es importante prestar atención a los factores externos, como la claridad del programa, la gestión de los interesados, la interacción de los proyectos, la cultura organizacional y la capacidad de organización. De hecho, se requieren esfuerzos para desarrollar la capacidad de priorización de los proyectos en una organización con el fin de lograr un equilibrio entre los proyectos en términos de distribución de los recursos, debido a sus interdependencias de alcance y de recursos. Del mismo modo, la alineación de los proyectos individuales y los objetivos estratégicos de la organización es crucial para la eficiencia de los proyectos (Frinsdorf et al., 2014).

Yaghootkar & Gil (2011) estudió la presión que ejerce el cronograma de los proyectos en los gerentes en un ambiente multiproyecto. Entrevistaron y compilaron testimonios sobre la ejecución de los proyectos en la vida real. En este estudio se dejó ver que en la programación de los proyectos los recursos pueden estar bien asignados, pero cuando se atrasa uno de los proyectos la alta dirección tal vez deba transferir recursos de proyectos simultáneos al “proyecto crítico” y así aplazar la fecha de inicio de estos proyectos. Así pues, el tiempo es el factor que termina la decisión de asignación de recursos. El autor hizo una simulación con dinámica de sistemas y diagramas de influencia en donde se encontró que la urgencia de captar recursos es baja al inicio de los proyectos o primeras etapas pero que la competencia por los recursos aumenta conforme avanzan los proyectos.

7. METODOLOGÍA

7.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Se aplicó un enfoque metodológico mixto secuencial de investigación (ver Tabla 7). La cual se según Hernandez Sampieri, (2014) involucra procesos sistemáticos, empíricos, críticos, la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su discusión, para realizar inferencias producto de la información obtenida y lograr un mayor entendimiento del problema de estudio.

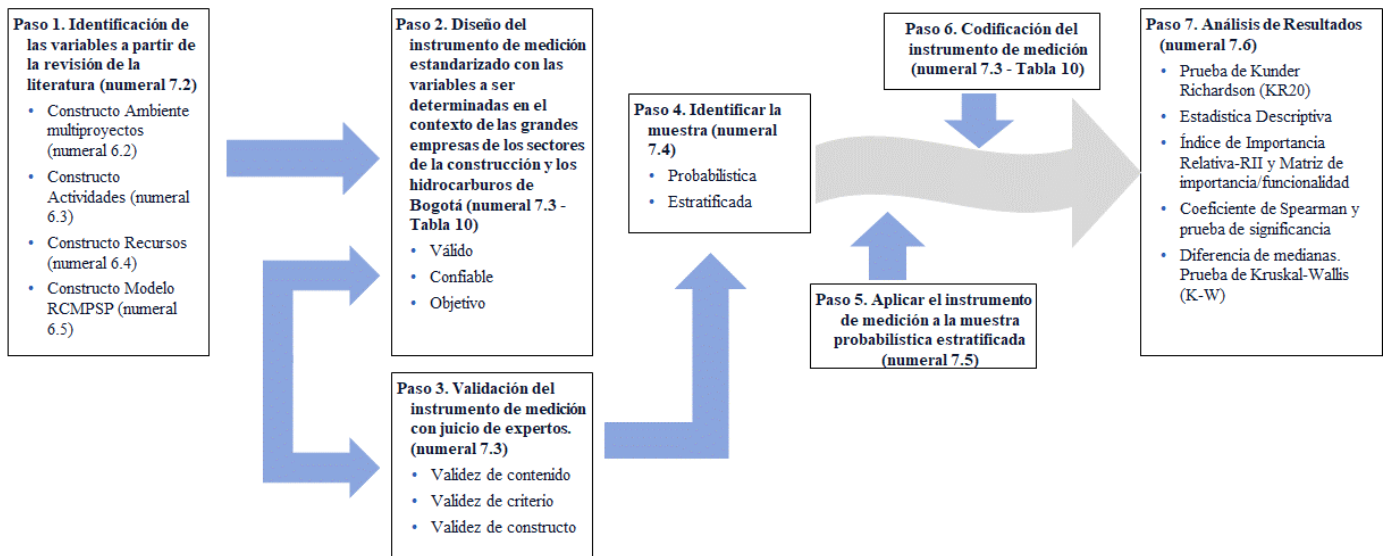
Tabla 7. Enfoque Metodológico por Objetivo

Consecución de Objetivos Específicos	Enfoque	Actividades y/o Métodos	Resultado
1. Determinar las variables para la programación de multiproyectos en grandes empresas de los sectores de construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá, a través del diseño y la aplicación de un instrumento de medición.	Cuantitativo Cualitativo	1. Revisión de literatura. 2. Diseño instrumento de medición (encuesta) con las variables a determinar. 3. Prueba de Kuder Richardson (KR20) 4. Estadística Descriptiva	1. Muestreo (numeral 7.4). 2. Confiabilidad del instrumento KR20 (numeral 8.1). 3. Resultados estadística descriptiva (numeral 8.2).
2. Analizar las variables determinadas, mediante el cálculo del índice de importancia relativa con el fin de establecer los retos y oportunidades de la aplicación del <i>software</i> ECI-RCMPSP en grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos en Bogotá.	Cuantitativo Cualitativo	Métodos de Análisis de Datos: 1. Análisis Compuesto Índice de Importancia Relativa-RII	1. Retos y oportunidades establecidos (numeral 8.3).
3. Proponer los ajustes necesarios al <i>software</i> ECI-RCMPSP para su potencial aplicación en encontrar soluciones óptimas al problema RCMPSP en las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos en Bogotá.	Cuantitativo Cualitativo	1. Coeficiente de Spearman y prueba de significancia. 2. Diferencia de medianas. Prueba de Kruskal-Wallis (K-W)	1. Ajustes propuestos al <i>software</i> ECI-RCMPSP (numeral 8.4).

Fuente: elaboración propia

El proceso utilizado para lograr los objetivos de la investigación se llevó a cabo principalmente mediante el diseño y aplicación de un instrumento de medición para la obtención de información sobre las variables identificadas en la Tabla 4. Con el instrumento se contrastó la realidad de multiproyectos de las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá frente a los variables teóricas alrededor del problema RCMPSP y bajo las cuales está desarrollado el *software* ECI-RCMPSP. De esta manera, se establecieron los retos, oportunidades y propusieron los posibles ajustes al *software*. La Ilustración 12 describe los pasos de la metodología utilizada.

Ilustración 12. Pasos de la Metodología



Fuente: elaboración propia

7.2. REVISIÓN DE LA LITERATURA

Con el fin de identificar las variables empleadas en los modelos conceptuales para solucionar el problema RCMPSP tales como supuestos o criterios, métodos empleados, características de las decisiones entre otras, se hizo una revisión de la literatura compuesta por 56 artículos clave, donde se extrajeron las variables base para el diseño del instrumento de medición de la presente investigación. En la Tabla 4 del marco teórico de la presente investigación se encuentran las variables identificadas producto de esta revisión.

La revisión de la literatura se realizó utilizando las siguientes bases de datos como: Scopus, Jstor, Scielo, ScienceDirect, Springerlink, disponibles en los recursos bibliográficos de la página web de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito y Google Academic. Para la selección de los artículos y otros documentos publicados se establecieron criterios de selección tales como:

- Relacionados con la aplicación a soluciones del problema RCMPSP en proyectos.
- Teoría del RCMPSP y sus extensiones
- El artículo haber sido publicado en un *journal* (revista) indexado.
- Otros documentos publicados diferentes a artículo debían ser producto, como mínimo de trabajo de posgrado.

Se definieron las siguientes palabras clave (*keywords*) de búsqueda:

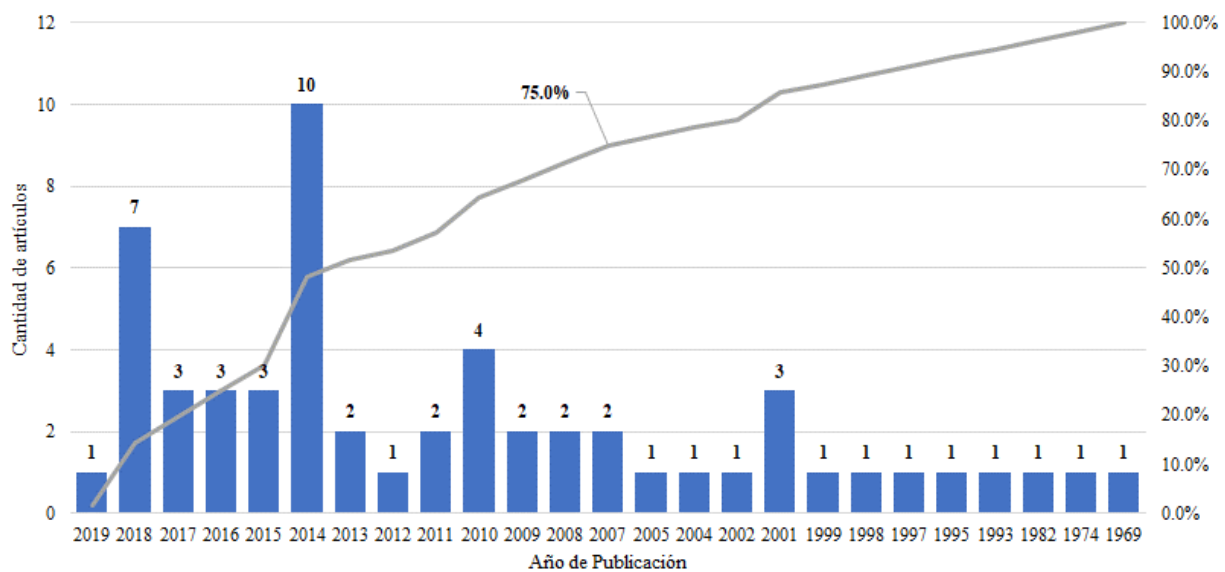
- *Keywords: RCMPSP, RCPSP, Heuristic, Metaheuristics, Multi-Project.*
 - Palabras clave: RCMPSP, RCPSP, Heurístico, Metaheurístico, Multiproyectos.
- *Composed Keywords: Multi-project environment, Multi-project Scheduling, Multi-project scheduling optimization, Preemptive Rules, Programme Management, Programme*

Scheduling, Project Scheduling, Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem, Resource Constrained Priority Rules, Resource Constrained Projects, Resource Management, Scheduling Optimization, Task Priority.

- Palabras clave combinadas: Entorno Multiproyecto, Programación Multiproyecto, Optimización de Programación, Reglas de Priorización, Gestión de Programas, Programación de Programas, Programación de Proyectos, Problema de Programación Multiproyectos con Recursos Restringidos, Reglas de priorización para Recursos Restringidos, Proyectos con Recursos Restringidos, Gestión de Recursos, Optimización de Programación, Priorización de Tareas.

La cantidad de artículos por año para la identificación de variables alrededor de los modelos conceptuales del problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos y el diseño del instrumento de medición de la presente investigación se observa en la Ilustración 13. El 75% de los artículos consultados se encuentran en una ventana de tiempo de 2007-2019 con una alta concentración del año 2014 y 2018.

Ilustración 13. Literatura Consultada



Fuente: elaboración propia

7.3. DISEÑO INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

Un instrumento de recolección de datos debe cumplir tres requisitos: validez, confiabilidad y objetividad. Con el propósito de que el instrumento utilizado cumpliera con estos requisitos y en especial, no permitiera sesgos y/o tendencias de parte del investigador que administra, califica e interpreta, se construyó un instrumento de medición estandarizado, tanto en el desarrollo, como en la aplicación (Hernandez Sampieri, 2014).

Así mismo, de acuerdo con Hernandez Sampieri (2014) se considera que el instrumento es válido en la medida que cumple con: validez de contenido¹, validez de criterio² y validez de constructo³. Por tanto, para cumplir con la validez de contenido y criterio se empleó un método de validez de expertos⁴, el cual consistió en la aplicación del instrumento de medición a un grupo de personas con amplia experiencia en la formulación, evaluación y ejecución de proyectos. En el grupo participaron 6 académicos (5 profesores de la unidad de proyectos de la ECI y 1 profesora y consultora de proyectos de la Universidad Católica de Colombia) y 8 profesionales que han desempeñado la gerencia de portafolios, programas y proyectos a lo largo de su carrera en el ejercicio de su profesión en los sectores de la construcción y los hidrocarburos (ver ANEXO 2).

Con base en el juicio y los comentarios (*feedback*) del panel de expertos se realizaron ajustes al diseño del instrumento de medición para alinear las preguntas a las variables objeto de medición. Considerando que las variables a medir (Tabla 4) fueron seleccionadas de acuerdo con la literatura expuesta en el marco teórico existe una correlación entre las variables de medida y las de la teoría, cumpliendo así la validez de constructo en el instrumento de medición empleado en esta investigación (Hernandez Sampieri, 2014).

El instrumento de medición estandarizado y validado se diseñó en cinco secciones(ver Tabla 10): primera, incluye la información general de las personas identificadas en las organizaciones de los sectores de construcción e hidrocarburos; segunda, relacionada con el constructo de ambiente multiproyecto en las empresas; tercera, el constructor de actividades que abarca los aspectos relacionados con las actividades del cronograma de los proyectos; cuarta, relacionada con el tipo de recursos y sus asignaciones (constructo de recursos); quinta, variables relacionadas con el *software* ECI-RCMPSP en cuanto a su enfoque de medidas de desempeño y su componente heurístico basado en reglas de prioridad en el contexto de las organizaciones (constructo modelo RCMPSPS). En la Tabla 8 se muestra la ficha técnica del instrumento de medición.

Tabla 8. Ficha Técnica del Instrumento de Medición

Naturaleza de la investigación	Cuantitativa y Cualitativa
Lugar	Bogotá D.C.
Fecha	Del 21 marzo al 09 de abril del 2019
Instrumento y técnica de recolección	Encuesta estructurada y validada.
Grupo Objetivo	Personas en organizaciones del sector de construcción e hidrocarburos con conocimiento en el área de proyectos.

¹ Grado en que un instrumento refleja un dominio específico de contenido de lo que se mide (Hernandez Sampieri, 2014).

² Validez que se establece al correlacionar las puntuaciones resultantes de aplicar el instrumento con las puntuaciones obtenidas de otro criterio externo que pretende medir lo mismo (Hernandez Sampieri, 2014).

³ Grado en el que las mediciones del concepto proporcionadas por el instrumento se relacionan de manera consistente con mediciones de otros conceptos o variables vinculadas empírica y teóricamente (por la teoría, modelos e hipótesis previas o investigaciones antecedentes) (Hernandez Sampieri, 2014).

⁴ Grado en que un instrumento realmente mide la variable de interés, de acuerdo con expertos en el tema (Hernandez Sampieri, 2014).

Medio de contacto con los entrevistados	Correo electrónico y teléfono de acuerdo con la base de datos de la Cámara de Comercio de Bogotá.
Muestra	Muestra representativa, 66 grandes empresas del sector de construcción e hidrocarburos registradas en la Cámara de Comercio de Bogotá.
Numero de preguntas	La encuesta está constituida por 15 preguntas cerradas con única respuesta, 5 preguntas cerradas de múltiple respuesta, y 3 preguntas abiertas para un total de 23 preguntas. Cada constructo es indagado con al menos una pregunta.

Fuente: elaboración Propia

La codificación consistió en asignación tipo binaria, donde el valor 1 hace referencia a la presencia de la variable determinada y 0 a su ausencia. En aquellas variables con opciones de múltiple respuesta, se tomó cada respuesta como un variable binaria para su codificación; se asignó el valor de 1 si era seleccionada la respuesta y en el caso de no ser seleccionada como respuesta, se asignó un valor de 0 (ver tabla 9).

Tabla 9. Instrumento de Medición

Constructo	ID	Variable	Pregunta	Respuesta	Codificación
Información general	1	Nombre	¿Cuál es su nombre?	Respuesta Abierta	NA
	2	Cargo, Rol	¿Cuál es su cargo?	Gerente de Portafolio Gerente de Programa Gerente de Proyecto Coordinador de Proyecto Consultor o asesor en proyectos Planner Controller Gestor / Administrador de cronogramas Otro ¿Cuál?	NA
	3	Experiencia	¿Cuántos años de experiencia tiene en el área de proyectos?	Respuesta Abierta	NA
	4	Cantidad de Proyectos de la Organización	¿Cuántos proyectos ejecutó la organización durante el año 2018?	Respuesta Abierta	NA
Ambiente Multiproyectos	5	Multiproyectos	¿La organización ejecuta proyectos de forma simultánea durante un mismo periodo de tiempo?	Si No	1 0
	6	Cantidad de Proyectos Simultáneos	¿Cuántos proyectos ha llegado a ejecutar simultáneamente la organización?	Respuesta Abierta	NA

Constructo	ID	Variable	Pregunta	Respuesta	Codificación
	7	Estimaciones	Teniendo en cuenta el alcance de los proyectos, ¿Qué tipo de estimaciones realiza la organización para planear proyectos?	Estimación de tiempo	1
				Estimación de recursos	1
				Estimación de costos	1
	8	Proyectos dependientes	Cuando la organización ejecuta proyectos de manera simultánea, ¿se ha presentado el caso de que el producto final de un proyecto dependa del producto final de otro proyecto?	Si	1
No				0	
	9	Ambiente de programación	¿La organización permite iniciar un proyecto adicional al mismo tiempo que está ejecutando otro proyecto que no ha finalizado?	Si	1
				No	0
Actividades	10	Programación	Entendiendo los cronogramas como una relación de precedencias/secuencias y asignación de recursos a las actividades, ¿La organización planea los proyectos usando cronogramas?	Si	1
				No	0
	11	Técnica de Programación	¿Qué técnica utiliza la organización para indicar la precedencia/secuencia en que deben ser ejecutadas las actividades de los proyectos?	Diagrama de Gantt	1
				Gráfica de hitos	1
				PERT	1
CPM				1	
			Otra	0	
12	Software de Programación	¿Qué <i>software</i> utiliza la organización para representar o relacionar las actividades/recursos/tiempo de los proyectos?	Excel	1	
			Power Point	1	
			Project	1	
			Primavera	1	
			Otro	1	
13	Duración	Si un proyecto se compone de un conjunto de actividades, ¿cómo establece la duración estimada de cada una de las actividades de los proyectos?	Estimación análoga: se basa en utilizar, como estimación, la duración de una actividad similar realizada anteriormente.	1	
			Estimación paramétrica: se utilizan parámetros como productividad. (Por ejemplo: horas/m2)	1	
			Estimación de tres puntos: estimación más	1	

Constructo	ID	Variable	Pregunta	Respuesta	Codificación	
	14	Relación de Precedencia	En los proyectos de la organización, ¿Qué tipo de relaciones de precedencias se establecen entre las actividades?	probable, optimista y pesimista.	0	
				Otra		
				FC: Fin a comienzo. La actividad B solo puede iniciar cuando haya terminado la actividad A, o más tarde.		1
				FF: Fin a fin. La actividad B solo puede terminar cuando haya terminado la actividad A, o más tarde.		1
	15	Ruta Crítica	¿La organización identifica la secuencia o conjunto de las actividades llamadas críticas, es decir, que si se retrasan afectan la finalización programada del proyecto?	Si	1	
			No	0		
Recursos	16	Tipo de Asignación	¿Cómo se toma principalmente la decisión de asignación de recursos para los proyectos en la organización?	Centralizada: si un solo agente o grupo toma la decisión de asignación de los recursos para todos los proyectos.	1	
				Descentralizada: si cada uno de los proyectos cuenta con un agente o grupo para asignar los recursos.	1	
				Centralizada y Descentralizada	1	
17	Asignación por Actividad	Cuando planea su cronograma del proyecto, ¿a cada actividad le asigna recursos?	Si	1		
			No	0		
18	Recursos Globales	¿En los proyectos que se ejecutan de forma simultánea en su organización, ha identificado que se desarrollan actividades que	Si	1		
			No	0		

Constructo	ID	Variable	Pregunta	Respuesta	Codificación
			requieren usar el mismo recurso?		
	19	Tipo de Recursos	De los recursos compartidos entre los proyectos que se ejecutan de manera simultánea, ¿cuál es la proporción entre los recursos renovables y los no renovables?	No renovables: recursos cuya disponibilidad se agota a medida que se utiliza en el desarrollo de las actividades Renovables: recursos utilizados en una actividad y una vez finalizada, éstos quedan disponibles para realizar otra actividad	NA NA
	20	Tiempo de Transferencia	En la programación de actividades entre proyectos que son ejecutados en simultaneo, ¿La organización estima tiempos de transferencia (desplazamiento) de los recursos compartidos?	Si No	1 0
Modelo RCMSP	21	Medida de Desempeño	Para lograr el alcance de los proyectos en la organización, ¿Cuál es el objetivo principal para la programación de sus proyectos?	Minimizar tiempo de duración Minimizar costos	1 0
	22	Regla de Prioridad	¿Cuál es la regla de prioridad que utiliza la organización para realizar la programación de actividades de los proyectos en el tiempo?	Por duración - Programar las actividades de acuerdo con su fecha de inicio y fin.	1
				Por recursos - Programar las actividades de acuerdo con la disponibilidad de recursos	1
				Por experiencia - Programar las actividades de acuerdo con el criterio de la persona que elabore la programación.	1
			Ninguna	0	
			Otra	1	
23	Método de Optimización	¿La organización implementa algún método o forma de optimización para la programación (tiempo-costos) de sus proyectos?	Si No	1 0	

Fuente: elaboración propia.

7.4. MÉTODO DE MUESTREO

Con el fin de delimitar la población para seleccionar una muestra probabilística y definir el tamaño de muestra adecuado para el cuál se recolectarán los datos, se tomó como base la información de las empresas del sector de construcción e hidrocarburos registradas en la Cámara de Comercio de Bogotá (CCB), y se establecieron los siguientes criterios de selección del Sistema de Información Empresarial-SICO de la CCB:

1. Ubicación: Empresas registradas en la CCB y ubicadas en Bogotá D.C.
2. Actividad económica registrada bajo los códigos CIIU⁵: sección B⁶ con códigos CIIU de la división 06 y 09 (explotación de minas y canteras), sección D⁷ con códigos CIIU de la división 35 (Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado) y sección F⁸ (Construcción).
3. Clasificación del Tamaño de la empresa como grandes empresas: aquella unidad económica que tiene activos totales superiores a 30.000 salarios mínimos.⁹
4. Matrícula mercantil renovada en el año 2018.

Los filtros anteriormente mencionados fueron aplicados en el portal de Soluciones Integrales de Información Empresarial de la CCB para así obtener la respectiva base de datos como se describe a continuación en las ilustraciones 14 a 17:

⁵ Código CIIU: Clasificación Industrial Internacional Uniforme, realizada con el propósito de clasificar las actividades económicas de los empresarios del país de la manera más precisa, las cámaras de comercio del país, a partir del año 2000, se rigen por esta clasificación. Tomado de: https://sico.ccb.org.co/Sico/Helps/HELPER_FILTRO_CIIU.pdf

⁶ “...abarca la extracción de minerales que se encuentran en la naturaleza en estado sólido (carbón y minerales), líquido (petróleo) o gaseoso (gas natural) [...] También se incluyen actividades complementarias dirigidas a preparar los materiales en bruto para su comercialización.” Tomado de CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL INTERNACIONAL UNIFORME DE TODAS LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS. Revisión 4 adaptada para Colombia CIIU Rev. 4 A.C. DANE.

⁷ “...abarca las actividades de suministro de energía eléctrica, gas natural, vapor y agua caliente a través de una estructura permanente (red) de conductos y tuberías de distribución [...] además incluye la operación de servicios públicos de electricidad que generan, transmiten, distribuyen y comercializan energía eléctrica y la operación de empresas de servicios públicos de gas que distribuyen y comercializan gases combustibles por tuberías.” Tomado de CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL INTERNACIONAL UNIFORME DE TODAS LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS. Revisión 4 adaptada para Colombia CIIU Rev. 4 A.C. DANE.

⁸ “...comprende las actividades corrientes y especializadas de construcción de edificios y obras de ingeniería civil. En ella se incluyen las obras nuevas, reparaciones, ampliaciones y reformas, el levantamiento in situ de edificios y estructuras prefabricadas y también la construcción de obras de carácter temporal.” Tomado de CLASIFICACIÓN INDUSTRIAL INTERNACIONAL UNIFORME DE TODAS LAS ACTIVIDADES ECONÓMICAS. Revisión 4 adaptada para Colombia CIIU Rev. 4 A.C. DANE.

⁹ Tomado de: https://sico.ccb.org.co/Sico/Helps/HELPER_FILTRO_TAMANO.pdf

Ilustración 14. Filtro de Ubicación 1.

Ayuda Seleccione Las Cámaras de Comercio:

Criterios de Selección :

- AGUACHICA
- AMAZONAS
- ARAUCA
- ARMENIA
- BARRANCABERMEJA
- BARRANQUILLA
- BOGOTA
- BUCARAMANGA
- BUENAVENTURA
- BUGA
- CALI
- CARTAGENA

Seleccionar Todo

Registros Antes de la Selección: 0

Registros Después de la Selección: 597590

Criterios Seleccionados : BOGOTA

Seleccionar Todo

Días para Vencimiento del Plan: 95

Si requiere asesoría comuníquese con: [Soporte Técnico](#)

Cantidad de Registros Total Registros: 1631417

Registros seleccionados: 597590

Ilustración 15. Filtro de Ubicación 1.1.

Ayuda Seleccione Ubicación (Municipios) :

Ubicación

Departamentos : BOGOTA D.C.

Criterios de Selección : BOGOTA D.C.

Seleccionar Todo

Localidades

Zonas Postales

Registros Antes de la Selección: 597590

Registros Después de la Selección: 516215

Criterios Seleccionados : BOGOTA D.C.

Seleccionar Todo

Días para Vencimiento del Plan: 95

Si requiere asesoría comuníquese con: [Soporte Técnico](#)

Cantidad de Registros Total Registros: 1631417

Registros seleccionados: 516215

Ilustración 16. Filtro de Actividad Económica 2.

Ayuda Seleccione la Actividad Económica:

Buscar Por : Letras [Archivo Código CIU](#)

Código	Descripción
<input type="checkbox"/> A	01-03 AGRICULTURA, GANADERÍA, CAZA, SILVICULTURA Y PESCA
<input type="checkbox"/> B	05-09 EXPLOTACIÓN DE MINAS Y CANTERAS
<input type="checkbox"/> C	10-33 INDUSTRIAS MANUFACTURERAS
<input type="checkbox"/> D	35 SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD, GAS, VAPOR Y AIRE ACONDICIONADO
<input type="checkbox"/> E	36-39 DISTRIBUCIÓN DE AGUA; EVACUACIÓN Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, GESTIÓN DE DESECHOS Y ACTIVIDADES DE SANEAMIENTO AMBIENTAL
<input type="checkbox"/> F	41-43 CONSTRUCCIÓN
<input type="checkbox"/> G	45-47 COMERCIO AL POR MAYOR Y AL POR MENOR; REPARACIÓN DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES Y MOTOCICLETAS
<input type="checkbox"/> H	49-53 TRANSPORTE Y ALMACENAMIENTO
<input type="checkbox"/> I	51-56 ALMOZAMIENTO Y SERVICIOS DE COMIDA

Seleccionar Todo

Registros Antes de la Selección: 516215

Registros Después de la Selección: 34573

Criterios Seleccionados : B : 05-09 EXPLOTACIÓN DE MINAS Y CANTERAS
D : 35 SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD, GAS, VAPOR Y AIRE ACONDICIONADO
F : 41-43 CONSTRUCCIÓN

Seleccionar Todo

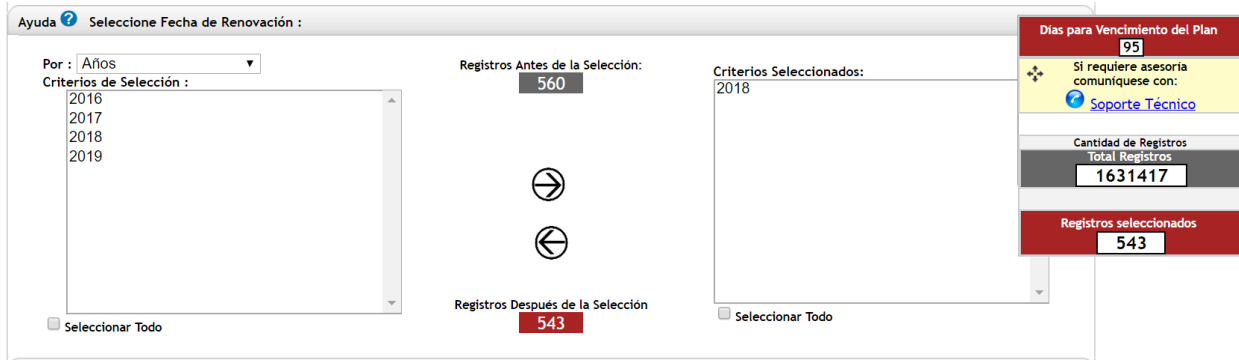
Días para Vencimiento del Plan: 95

Si requiere asesoría comuníquese con: [Soporte Técnico](#)

Cantidad de Registros Total Registros: 1631417

Registros seleccionados: 34573

Ilustración 17. Filtro Tamaño de Empresa 3.



Filtros aplicados e información descargada el: 11/3/2019 23:31

Como se observa en la Ilustración 17, al ejecutar los anteriores filtros, se obtuvo la base de datos con un total de 543 empresas. Posteriormente, se realizó un filtro adicional para acotar el sector de hidrocarburos definidos por las divisiones 06 y 09 de la actividad económica de exploración de minas y canteras (B) y el grupo 2 de la actividad suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado (D), filtros que se detallan en la Ilustración 18.

Ilustración 18. Códigos CIUU Sector Hidrocarburos.

SECCIC	DIVISIC	GRUF	CLA	CIUU	DESCRIPCION
B	06			B06	Extracción de petróleo crudo y gas natural
B	06	1	0	B0610	Extracción de petróleo crudo
B	06	2	0	B0620	Extracción de gas natural
B	09			B09	Actividades de servicios de apoyo para la explotación de minas y canteras
B	09	1		B091	Actividades de apoyo para la extracción de petróleo y de gas natural
B	09	1	0	B0910	Actividades de apoyo para la extracción de petróleo y de gas natural
B	09	9		B099	Actividades de apoyo para otras actividades de explotación de minas y canteras
B	09	9	0	B0990	Actividades de apoyo para otras actividades de explotación de minas y canteras
D	35	2		D352	Producción de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías
D	35	2	0	D3520	Producción de gas; distribución de combustibles gaseosos por tuberías

Fuente: DANE, (2018)

De los anteriores filtros se obtuvo una población de 485 empresas a ser tenidas en cuenta como la población a ser estudiada y para la cual se determinó el tamaño de muestra.

7.4.1. Tamaño de Muestra

Con el objetivo de que los resultados de la investigación pudieran ser generalizados a la población, a continuación, se desarrolló el ejercicio de la definición de tamaño de muestra probabilística, es decir, aquellas cuyos elementos tienen la misma posibilidad de ser escogidos (Hernandez Sampieri, 2014).

Siguiendo la metodología propuesta por Hernandez Sampieri, (2014) para realizar una muestra probabilística se requiere de dos pasos:

1. Conocer el tamaño de la muestra representativa de la población.

Se utilizó el programa STATS®, para lo cual se ingresó el tamaño de población (485 empresas), el nivel de tolerancia al error (es decir, la tolerancia a que la muestra no sea

representativa de la población) definido en 10% y que, por defecto, indica un nivel de confianza del 90%. Por último, se ingresa el porcentaje estimado de la muestra, que es la probabilidad de ocurrencia del fenómeno, el cual se dejó con el valor asignado por defecto en el programa (50%) dado que no se cuenta con marcos de muestreo¹⁰ previos.

El tamaño de muestra que es representativo bajo los parámetros anteriores es de 60 elementos para tener representadas a las 485 grandes empresas de Bogotá en los sectores de construcción e hidrocarburos, con 90% de confianza y 10% de error máximo. Lo anterior se observa en la Ilustración 19.

Ilustración 19. Tamaño de Muestra Probabilística.



Fuente: tomado de Analyst STATS™ 2.0

Para comparar los resultados entre grupos de actividad económica, a saber, códigos CIU: B, D y F, es necesario diseñar una muestra probabilística estratificada, seleccionando una muestra de cada segmento.

Según Hernandez Sampieri, (2014), si n (tamaño de muestra) es 60, la fracción constante para obtener el tamaño de muestra de cada estrato que minimiza la varianza de la media muestral se calcula de la siguiente manera:

$$\sum fh = \frac{n}{N} = ksh = fh = \frac{nh}{Nh} = \frac{60}{485} = 0.1237$$

¹⁰ Un marco muestral es un marco de referencia que nos permite identificar físicamente los elementos de la población, así como la posibilidad de enumerarlos y seleccionar las unidades muestrales. (Hernandez Sampieri Roberto, 2014)

Donde:

nh = muestra del estrato

Nh = población del estrato

fh = fracción constante

De esta manera:

$$(Nh)(fh) = nh$$

En la Tabla 10 se encuentra el resultado de la muestra estratificada para cada uno de los sectores.

Tabla 10. Muestra Estratificada.

Estrato	Descripción	Población	Muestra
B y D	Explotación de minas y canteras. Suministro de electricidad, gas, vapor y aire acondicionado. (Hidrocarburos)	90	11
F	Construcción	395	49
Total		485	60

Fuente: elaboración propia

2. Seleccionar los elementos muestrales de la población objetivo, donde todos los elementos tienen las mismas posibilidades de ser escogidos. Esta selección se realizó aleatoriamente para asegurar que cada elemento tuviera la misma probabilidad de ser seleccionado (Hernandez Sampieri, 2014).

7.5. APLICACIÓN DEL INSTRUMENTO

Después de diseñar el instrumento de medición e identificar la muestra utilizando la metodología expuesta. El siguiente paso fue aplicar el instrumento a la muestra probabilística y estratificada a través de la herramienta Survey Monkey. Las fuentes de donde se obtuvieron los datos son empleados especializados en el área de gerencia y desarrollo de proyectos. Este proceso se desarrolló en dos etapas: primera, identificar la fuente de datos en la organización, cuya función es de filtro, lo cual buscaba llegar a la persona cuyas funciones o roles principales dentro de las empresas pertenecieran al área de proyectos y así obtener respuestas objetivas, técnicas y evitar preguntas de control en el cuestionario que pudieran extender el tiempo empleado para la aplicación del instrumento. Y segunda, se aplicó la encuesta vía telefónica y/o autoadministrada (vía web).

7.6. MÉTODO DE ANÁLISIS DE DATOS

7.6.1. Prueba Kuder Richardson

Se realizó la prueba de confiabilidad Kuder Richardson (KR20). Esta prueba es específica para variables dicotómicas o binarias y se aplicó al total de la muestra con el fin de validar que los datos obtenidos del instrumento fueran confiables. De esta manera, se puede concluir que el instrumento de medición diseñado en la presente investigación sea confiable (Hernandez Sampieri, 2014) y por tanto podría ser replicado en otros ambientes (sectores).

7.6.2. Estadística Descriptiva

Para cumplir con el objetivo específico 1, se realizó una descripción de los resultados de la aplicación del instrumento de medición, a través de gráficos de frecuencia y porcentajes de participación. Se segmentaron los datos por cada sector para cada una de las respuestas y se analizaron los aspectos relevantes con el objetivo de determinar las variables de programación de multiproyectos en las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos de acuerdo con las variables identificadas en el marco teórico (ver Tabla 4).

7.6.3. Análisis Compuesto

Para alcanzar el objetivo específico 2, se utilizó el Índice de Importancia Relativa (RII por sus siglas en inglés *Relative Importance Index*) utilizado en otras investigaciones para análisis de variables en instrumentos de medición tipo encuesta (Kannimuthu et al., 2018). El RII proporciona puntuaciones numéricas de las respuestas del cuestionario (varía entre cero y uno), y es calculado con la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Importancia Relativa (RII)} = \frac{\sum W}{A * N}$$

Donde W es el peso dado a cada una de las variables analizadas en el cuestionario por cada encuestado, cómo se observa en la Tabla 9 que contiene la codificación realizada del instrumento para todas las opciones de respuesta. A, es el peso más alto de la variable analizada (al ser dicotómicas es 1); y N es el número total de encuestados (en este caso la muestra representativa fue de 66).

Con el RII se identificaron las variables de mayor influencia. Las variables con un $\text{RII} \geq 0.5$ tienen mayor importancia en el entorno multiproyectos de los sectores analizados y las variables de menor importancia tendrán un $\text{RII} < 0.5$.

Se relacionó, para cada variable, el RII calculado con las características del *software* que se involucran en su funcionamiento. Se construyó una matriz con el nivel de importancia (RII) para la variable determinada en un eje versus la variable (condición, input o supuesto) que puede soportar o no el *software* ECI-RCMPSP. Posteriormente, se establecieron para los cuatro cuadrantes de matriz las secciones que se configuran como los retos/necesidades (alta importancia de variable en las organizaciones de los sectores pero no es contenida o soportada por las funcionalidades del software), oportunidades (alta importancia de variable en las organizaciones de los sectores y además es contenida o soportada por las funcionalidades del software), fortalezas

(baja importancia de variable en las organizaciones de los sectores y además es contenida o soportada por las funcionalidades del software) y amenazas/riesgos (baja importancia de variable en las organizaciones de los sectores pero no es contenida o soportada por las funcionalidades del software). Lo anterior se observa en la Ilustración 20.

Ilustración 20. Matriz de Importancia/Funcionalidad.

	Condición, input, supuesto del <i>Software</i> ECI-RCMPSP	
	SI	NO
Alta Importancia (RII>0,5)	La variable es importante para la muestra estudiada y el <i>software</i> lo tiene en cuenta para su funcionamiento. (Oportunidad)	La variable es importante para la muestra estudiada y el <i>software</i> NO lo tiene en cuenta para su funcionamiento. (Reto/Necesidad)
Baja Importancia (RII<=0,5)	La variable es de baja importancia para la muestra estudiada y el <i>software</i> lo tiene en cuenta para su funcionamiento. (Fortaleza)	La variable es de baja importancia para la muestra estudiada y el <i>software</i> NO lo tiene en cuenta para su funcionamiento. (Amenaza/Riesgo)

Fuente: elaboración propia.

Para desarrollar el objetivo específico 3, en el cual se propusieron los ajustes necesarios para que el *software* sea potencialmente aplicable, se realizó la relación entre pares variables del cuestionario, mediante el coeficiente de correlación de Spearman, utilizando la herramienta MINITAB v18. Este coeficiente puede variar entre -1 y 1. Un resultado de -1 indica que la dirección de la correlación es negativa y +1 una dirección positiva¹¹. Los coeficientes negativos o positivos de correlación entre variables se clasificaron en los siguientes rangos (independiente del signo): muy débil (0-0.19), débil (0.20-0.39), moderada (0.4-0.59), fuerte (0.6-0.79) y muy fuerte (0.8-1) (Kannimuthu et al., 2018).

Para establecer la significancia de la asociación entre variables, se llevó a cabo una prueba de hipótesis así¹²:

Hipótesis nula (H0): no existe asociación entre las dos variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

Hipótesis alternativa (H1): existe una asociación entre las dos variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

De esta manera, aquellas variables con un coeficiente de correlación estadísticamente significativo (cuando el p-value $\leq 0,05$) y que correspondieran a retos o amenazas permitió definir los posibles ajustes al software para su funcionalidad. Con esto, se pretende que los ajustes propuestos tengan

¹¹ Tomado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/correlation-and-covariance/a-comparison-of-the-pearson-and-spearman-correlation-methods/>

¹² Tomado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/how-to/correlation/interpret-the-results/key-results/>

relación significativa con el mayor número de variables posibles del modelo para solucionar el problema RCMSPS.

Por otro lado, debido a la naturaleza categórica de las variables se realizó la prueba de Kruskal-Wallis (K-W) que es una prueba no paramétrica, utilizada para poblaciones en la que se desconoce el comportamiento de la distribución de la población para dos niveles en una sola vía con la finalidad de evaluar si las muestras se originan en una misma distribución (Hernandez Sampieri, 2014). Es decir, si existe alguna diferencia entre sectores. En la investigación se verificó si existía una diferencia significativa de las respuestas entre los sectores estudiados (a) construcción y (b) hidrocarburos. Para ello se estableció las siguientes hipótesis a ser contrastadas bajo la prueba K-W¹³:

Hipótesis nula (H0): Entre los sectores de la construcción y los hidrocarburos No existe una diferencia significativa en la mediana de las variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

Hipótesis alternativa (H1): Entre los sectores de la construcción y los hidrocarburos existe una diferencia significativa en la mediana de las variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

Esto permitió establecer si el software debe o no contener una funcionalidad que permita diferenciar empresas de cada uno de los sectores. Puesto que, según la prueba de hipótesis el compartimiento de una la variable determinada es diferente dependiendo del sector, siempre y cuando se rechace la hipótesis nula (cuando el p-value $\leq 0,05$).

¹³ Tomado de: <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/18/help-and-how-to/statistics/nonparametrics/how-to/kruskal-wallis-test/interpret-the-results/all-statistics/>

8. RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este capítulo se muestran los resultados de aplicar la metodología expuesta en el capítulo anterior. En la primera se encuentran los resultados de aplicar la prueba de confiabilidad KR20 para el instrumento de medición. La segunda sección se compone de los resultados obtenidos de la aplicación del instrumento de medición a la muestra representativa y que permitió determinar las variables de programación de multiproyectos que se presentan en el contexto de proyectos de las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos. La tercera sección, muestra los cálculos realizados para el índice RII y la relación de este índice con las funcionalidades del *software* estableciendo los retos y oportunidades para cada sector en función de los cuadrantes definidos en la matriz descrita en el capítulo anterior (ver Ilustración 20). En la última sección, se proponen los ajustes al *software* derivados de las pruebas no paramétricas de significancia estadística de correlación de Spearman y medianas de K-W.

8.1. Confiabilidad Kunder Richardson (KR-20)

Se realizó la prueba de confiabilidad KR-20 para el total de la muestra con el fin de validar que los datos obtenidos del instrumento fueran confiables. El resultado del índice calculado KR-20 fue de 0.64 para el instrumento de medición. Teniendo en cuenta que un índice de 0.60 es aceptable para estudios exploratorios (Hernandez Sampieri, 2014), el instrumento diseñado para esta investigación cumple con el requerimiento de ser confiable para medir las variables identificadas en la presente investigación y además podría ser empleado en otros sectores.

8.2. Estadística Descriptiva

Tal como se indicó en la sección de método de muestreo, se debía obtener una muestra de 60 empresas. La aplicación del instrumento de medición alcanzó la cifra de 66 encuestas completas al 100% superando la muestra representativa de la población. La muestra obtenida contó con 51 encuestas para construcción y 15 de hidrocarburos.

A continuación, se realiza la descripción estadística de frecuencias y porcentajes para los resultados obtenidos a partir de las respuestas a las preguntas realizadas en la encuesta. Posteriormente, la identificación, la interpretación y el análisis de los hallazgos, se agruparon teniendo en cuenta los diferentes constructos bajo los cuales fue elaborado el instrumento de medición (encuesta).

8.2.1. Constructo: Información General

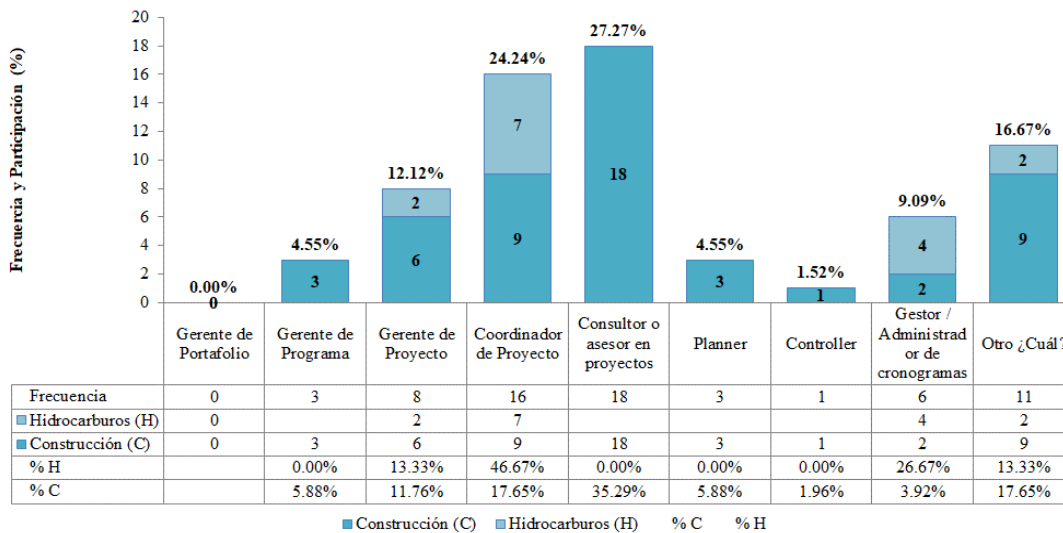
El primer constructo del instrumento corresponde a información general de las organizaciones del y las personas encuestadas que pertenecen a éstas. Las preguntas estuvieron enfocadas al tipo de cargo o rol dentro de la organización, los años de experiencia en el área de proyectos y el número de proyectos ejecutados en el 2018 por las empresas. Para la aplicación del instrumento se realizó una identificación inicial para asegurar que la encuesta fuera respondida por personas involucradas en el área de programación de proyectos dentro de las organizaciones de los sectores de la construcción y los hidrocarburos.

8.2.1.1. Variable: Cargo,Rol

En la Ilustración 21 se muestra que el 83.34% de los encuestados explícitamente ejercen un cargo o tienen un rol relacionado con proyectos. El cargo con mayor frecuencia fue consultor o asesor de proyectos con un 27.3%, seguido de coordinador de proyectos con un 24.2% y, en tercer lugar, gerentes de proyectos con un 12.1% de los encuestados. Se destaca que dentro de la jerarquía propuesta por la encuesta el 17% respondieron otra ocupación con especialidades como arquitecto, director de construcción, rehabilitación y mejoramiento de vías, ingeniero de soporte, especialista en licitaciones, esto debido a las estructuras organizacionales de las empresas donde dichos cargos ejercen funciones en proyectos.

El sector de la construcción tiene el mismo comportamiento del total de la muestra, debido a que el cargo de consultor o asesor de proyectos obtuvo la mayor representatividad dentro de los encuestados para el sector. El anterior cargo obtuvo un 35.29% de participación seguido de coordinador de proyecto (17.65%) y gerente de proyectos (11.76%). Para hidrocarburos, el cargo con mayor representatividad es el de coordinador de proyecto con un 46.67% de la muestra del sector.

Ilustración 21 Cargo/Rol en la Organización.



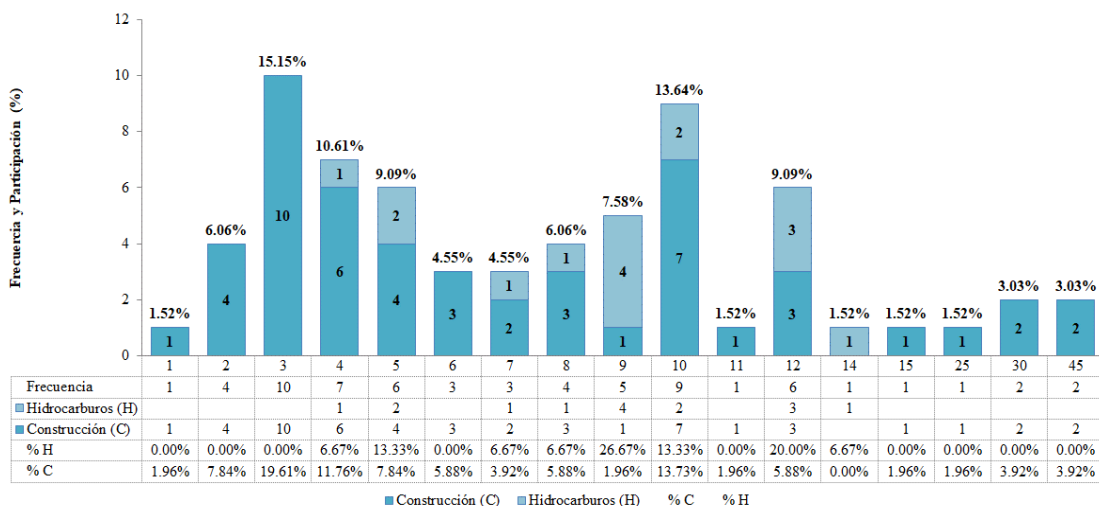
Fuente: elaboración propia.

8.2.1.2. Variable: Experiencia

El promedio de años de experiencia para ambos sectores se encuentra en 9 años. A nivel de rangos de experiencia (ver Ilustración 22), el 42.42% de la muestra se ubica dentro de un rango de 1 a 5 años, el 36.36% y más de 10 años el 21.21%.

Para los encuestados del sector de la construcción el 80.39% se encuentran entre 1 y 10 años de experiencia mientras que para el sector de hidrocarburos el 73.33% se encuentran entre 4 y 10 años de experiencia.

Ilustración 22. Experiencia en el Área de Proyectos.



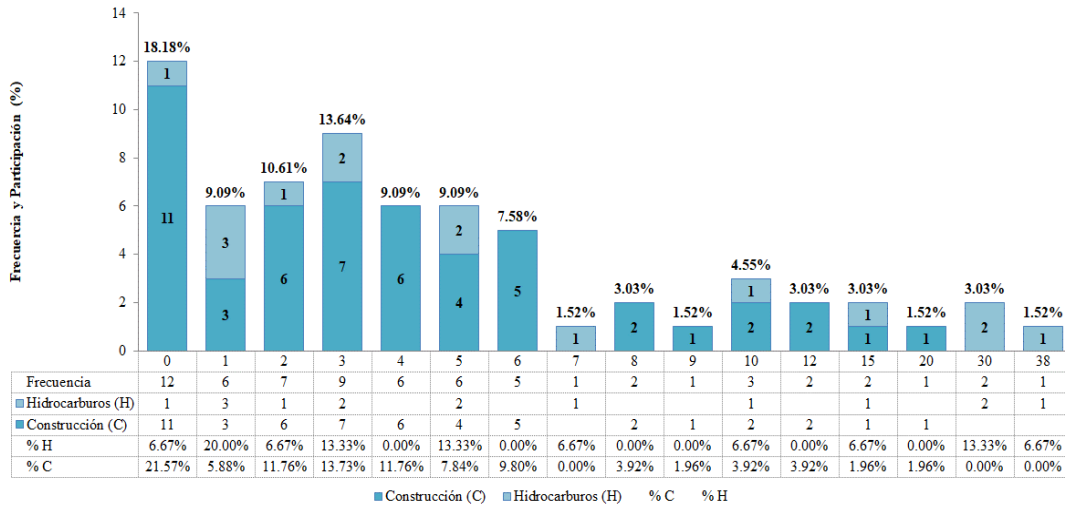
Fuente: elaboración propia

8.2.1.3. Variable: Cantidad de Proyectos Ejecutados

La cantidad de proyectos ejecutados por las organizaciones de los sectores de construcción e hidrocarburos en el año 2018 en promedio es de 5; donde el 33.33% de los encuestados se ubica en el rango de 1 a 3 proyectos, de 4 a 6 proyectos el 25.76% de la muestra, 6.06% de 7 a 9 proyectos y más de 10 % el 16.67%. La respuesta de cero (0) proyectos (18.18%), es debido a que los encuestados expresaron que por temas de confidencialidad de las organizaciones preferían no responder la pregunta.

En general el 72.73% de los encuestados ejecutaron 2 o más proyectos en el año 2018 (ver Ilustración 23). Por sectores, el 72.55% de las empresas encuestadas del sector de la construcción ejecutaron 2 o más proyectos y el 73.33% en hidrocarburos. Lo anterior indica que para los sectores existe la posibilidad de una situación de multiproyectos (Yang & Fu, 2014).

Ilustración 23. Cantidad de Proyectos Ejecutados



Fuente: elaboración propia.

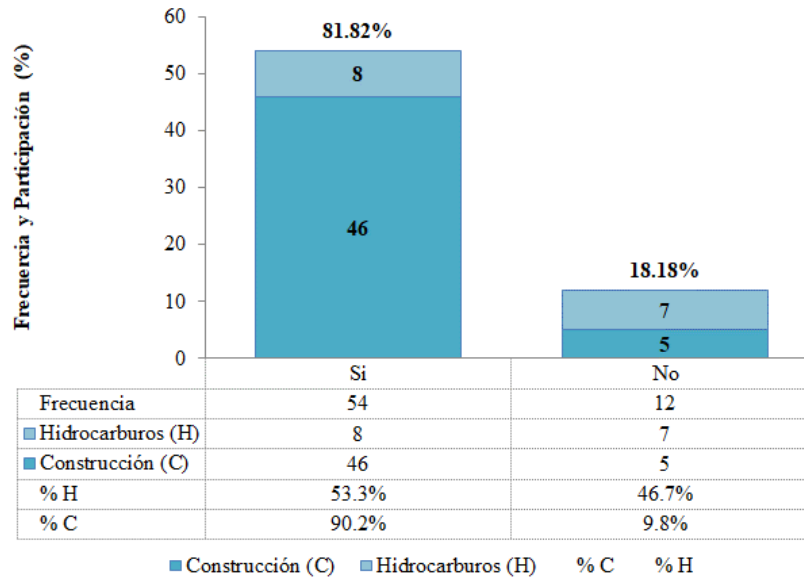
8.2.2. Constructo: Ambiente Multiproyectos

Este constructo aborda aspectos de las organizaciones para identificar si están en un ambiente multiproyectos, entendido este bajo las premisas del modelo clásico de RCMPSP como la ejecución de dos o más proyectos en simultáneo en un mismo periodo de tiempo, adicional se caracteriza el tipo de ambiente (dinámico o estático) de la programación y la dependencia entre proyectos en los sectores de construcción e hidrocarburos.

8.2.2.1. Variable: Multiproyectos

En la Ilustración 24 se observa que el 81.8% de los encuestados respondieron que la organización ejecuta proyectos de manera simultánea durante un mismo periodo de tiempo, cumpliendo la premisa básica del modelo RCMPSP y por tanto para el *software* ECI (Aristizabal et al., 2017). A nivel de sectores 90.2% de construcción y 53.3% en hidrocarburos, de las empresas que conforman la muestra ejecutan proyectos en simultáneo (Yang & Fu, 2014).

Ilustración 24. Ejecución de Proyectos en Simultáneo

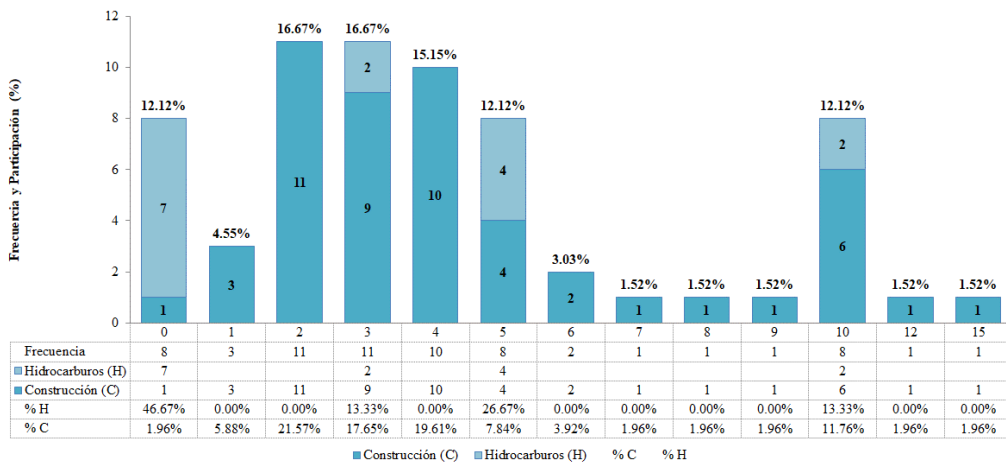


Fuente: elaboración propia

8.2.2.2. Variable: Cantidad de Proyectos Simultáneos

Las empresas encuestadas indicaron que han ejecutado o ejecutan en promedio 4 proyectos en simultáneo (ver Ilustración 25). El 12.1% de las organizaciones no ejecutan proyectos en simultáneo, siendo el sector de hidrocarburos el de mayor representatividad en esta categoría (10.6%). Lo anterior, puede ser debido a la duración de los proyectos y al nivel de incertidumbre (riesgo asociado) dependiendo de la etapa de la cadena productiva (Upstream y Downstream) en que se desarrollen (Arrieta & Díaz, 2017). En construcción el 92.2% de las organizaciones ejecutan más de 2 proyectos en simultáneo y en hidrocarburos el 53.3%.

Ilustración 25. Cantidad de Proyectos Ejecutados en Simultáneo



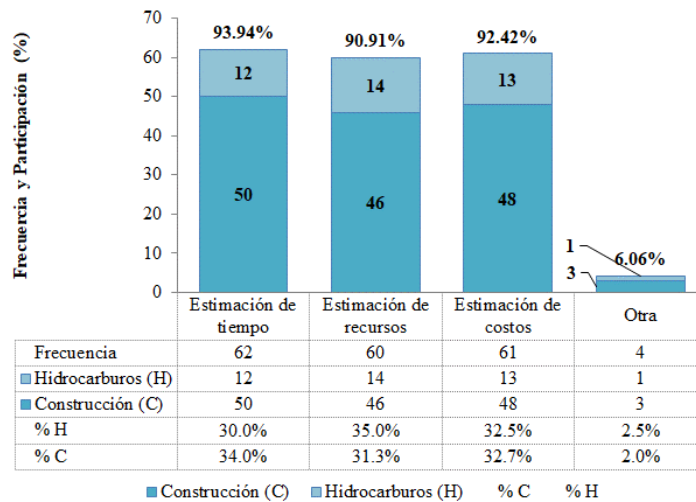
Fuente: elaboración propia.

8.2.2.3. Variable: Estimaciones

El objetivo de la estimaciones es predecir las variables involucradas en el proyecto (duración, recursos, costos) con cierto grado de certeza, dado que es uno de los aspectos determinantes de éxito de los proyectos; sin embargo al ser una predicción involucra de manera inherente incertidumbre asociados a riesgos por factores internos (Trujillo et al., 2018) y externos (Arrieta & Díaz, 2017; López & Montes, 2013).

En la Ilustración 26 se presenta que los sectores de construcción e hidrocarburos realizan en un 93.4% estimación de tiempo, lo que involucra aspectos como lista de actividades (estructura del trabajo a ejecutar) de los proyectos, limitaciones y requerimientos de tiempos (Yassine & Browning, 2010); para la estimación de recursos el 90.9% de las organizaciones afirman realizar esta estimación que involucra predecir las cantidades de los distintos tipos de recursos disponibles para realizar las tareas, donde la declaración del alcance del proyecto es fundamental y las políticas organizacionales deben ser consideradas durante la estimación (Trujillo et al., 2018). Respecto a la estimación de costos, el 92.4% de las empresas respondieron estimar los costos requeridos para completar los proyectos, donde principalmente es a través de presupuestos que involucre tanto los recursos como gastos estimados.

Ilustración 26. Tipo de Estimaciones



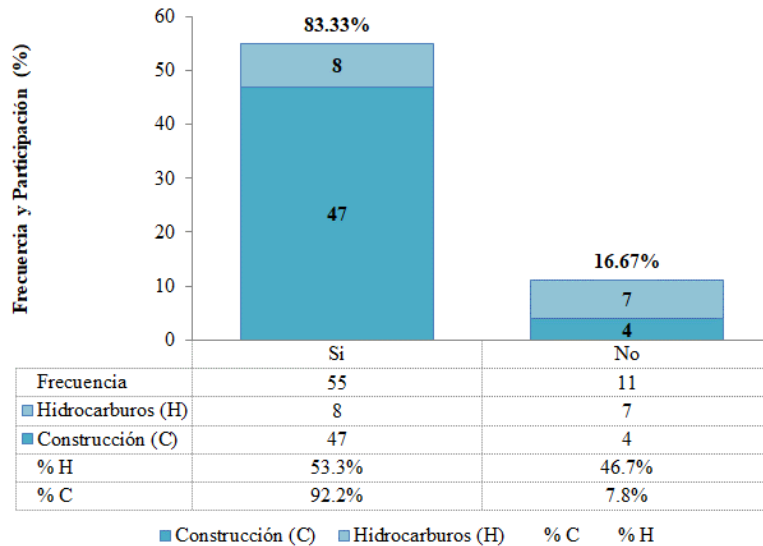
Fuente: elaboración propia.

8.2.2.4. Variable: Proyectos Dependientes

El alcance de los proyectos que se ejecutan en simultaneo puede verse desde dos tipos, el primero proyectos simultáneos independientes, en el cual un proyecto no depende del producto final de otro para realizar la programación de sus actividades y el segundo proyectos dependientes, que como indica el nombre, el alcance y la programación depende de otro proyecto de manera simultánea (Aristizabal et al., 2017). De esta manera, como se observa en la Ilustración 27 se identificó que el 83.33% de las organizaciones tanto del sector de construcción como hidrocarburos indicó tener dependencia entre proyectos simultáneos mientras que el 16.67% los proyectos son de tipo independiente.

Lo anterior, puede verse como portafolios y programas en las empresas, en los cuales el desarrollo de proyectos está alienado para la consecución de un objetivo en común orientado a la estrategia de la organización, por lo cual existe normalmente dependencia entre los proyectos (Pajares & López, 2014).

Ilustración 27. Dependencia



Fuente: elaboración propia.

8.2.2.5. Variable: Ambiente de Programación

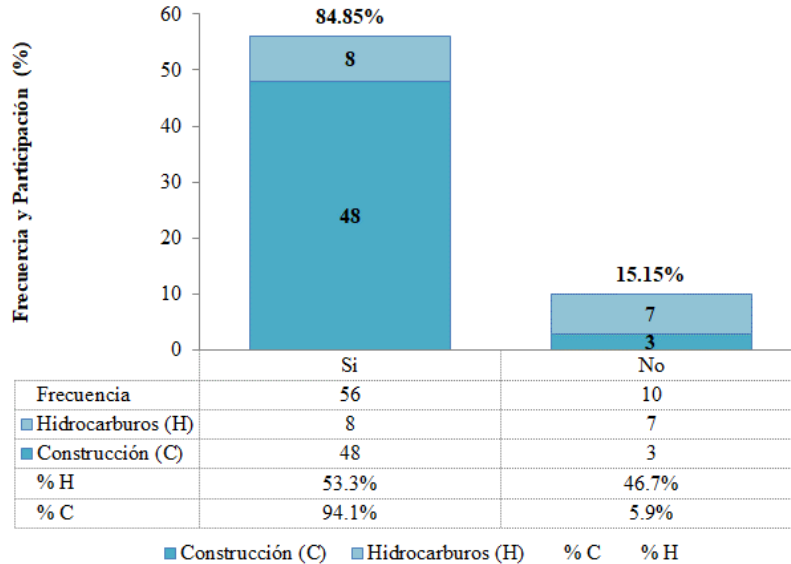
Los tipos de ambiente de programación están enfocados en el ambiente dinámico y estático, el primero hace referencia a la entrada de nuevos proyectos cuando la ejecución del multiproyecto no ha terminado (teniendo presente que pueden afectar duraciones y recursos), mientras el ambiente estático esta direccionado a ejecutar el multiproyecto basado en programación inicial (secuencia de tiempo y asignación de recursos), dada para un conjunto de proyectos en simultaneo elegidos en la planeación, sin permitir la entrada de nuevos proyectos durante la ejecución (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017; Beşikci et al., 2014; Kang & Hong, 2007).

Se observa en la Ilustración 28 que el 84.8% de los encuestados respondieron afirmativo a la pregunta, evidenciando un ambiente dinámico en las compañías, lo cual indica que permiten la entrada de nuevos proyectos bajo su programación inicial, esto conlleva a escenarios de una elevada complejidad para las organizaciones por aspectos tales como la reprogramación involucrando estimaciones de tiempo y recursos para la nueva cartera de proyectos (Kang & Hong, 2007).

En el sector de hidrocarburos el 53.3% de las organizaciones están enfocadas en un ambiente dinámico, frente al sector de la construcción donde es predominante dicho ambiente con un 94.1%. Se encuentra que las grandes empresas del sector de construcción pueden abarcar proyectos en diferentes áreas como edificaciones residenciales, comerciales o proyectos de licitaciones (Trujillo

et al., 2018) que hace que tengan que ingresar nuevos proyectos a la cartera ya programada inicialmente.

Ilustración 28. Ambiente de Programación



Fuente: elaboración propia.

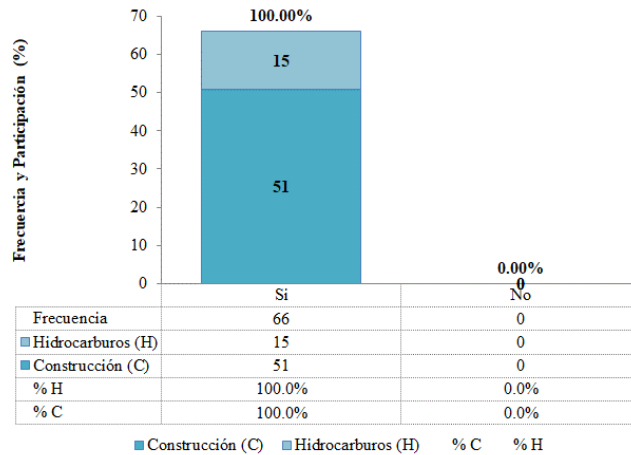
8.2.3. Constructo: Actividades

El constructo busca caracterizar las técnicas y softwares para soportar el proceso programación de las organizaciones en los sectores de construcción e hidrocarburos, donde la base son los cronogramas elaborados con base en estimaciones y relaciones de precedencia establecidas entre actividades.

8.2.3.1. Variable: Programación

La programación de los proyectos consiste en organizar las actividades en una secuencia (ideal que sea óptima), sujeta a restricciones (precedencias y recursos), con el fin de cumplir con los criterios y objetivos organizacionales (Chaparro & Castañeda, 2015). Para la pregunta a las empresas en la muestra si realizan cronogramas, el 100% respondieron que manejaban cronogramas para la planeación de sus proyectos (ver Ilustración 29). Esto es fundamental dado que se puede decir que las empresas tienen un proceso de estimaciones de tiempos y relaciones de precedencias entre actividades que conforman los proyectos, un aspecto clave para realizar una optimización con algún tipo de *software*.

Ilustración 29. Cronogramas

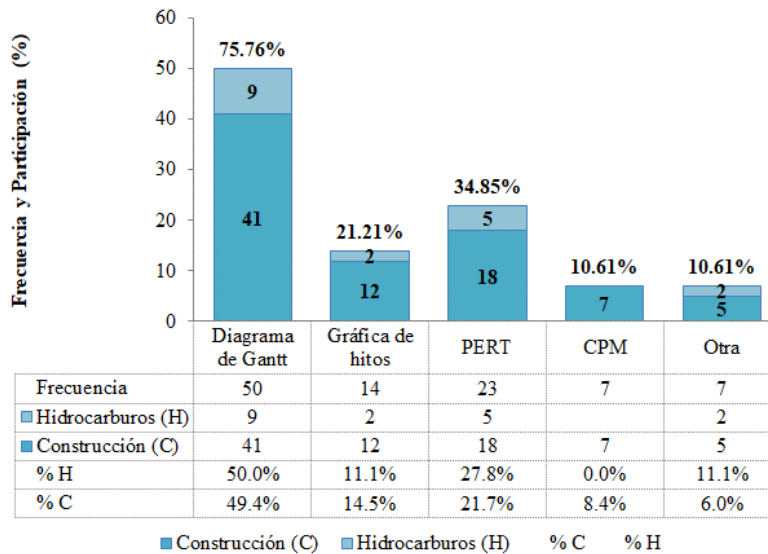


Fuente: Elaboración propia.

8.2.3.2. Variable: Técnica de Programación

La Ilustración 30 se presenta las técnicas de programación de las actividades en el tiempo, donde el 75.7% de las compañías respondieron utilizar la técnica de Diagrama de Gantt, la cual involucra actividades y tiempos, donde se representa gráficamente las actividades de los proyectos mediante un esquema de barras horizontales (una por cada actividad que incluye el tiempo necesario estimado para realizarla). La otra técnica más utilizada por las organizaciones de los sectores de construcción e hidrocarburos es PERT con el 34.85%, está técnica está enfocada en la duración de cada actividad.

Ilustración 30. Técnicas de Programación

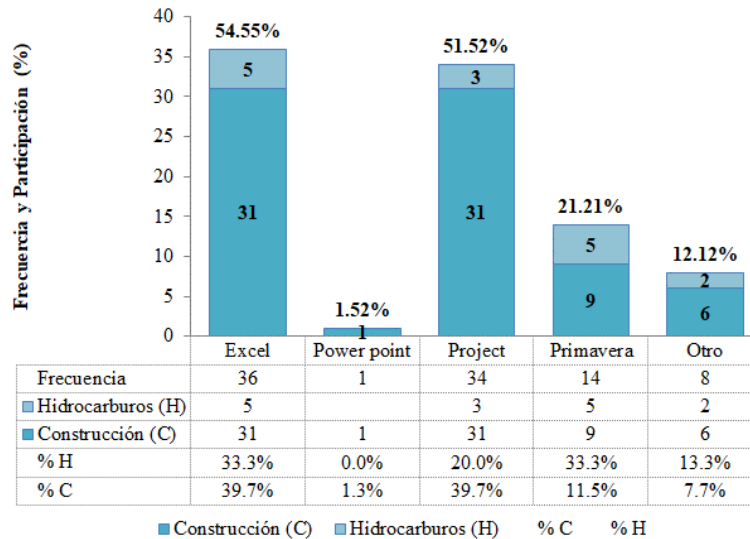


Fuente: elaboración propia.

8.2.3.3. Variable: Software de Programación

En las industrias existen diferentes tipos de *software* de programación para relacionar las actividades y los recursos de las mismas, donde su aplicabilidad depende de factores como la estructura organizacional y su nivel de madurez, así como el conocimiento para la planeación a través de estas herramientas (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017). Las organizaciones indicaron que la programación de sus proyectos (ver Ilustración 31) la realizan principalmente a través Excel y Project (interfaz enfocada directamente proyectos) con un 54.5% y 51.5%, respectivamente.

Ilustración 31. Software de Programación

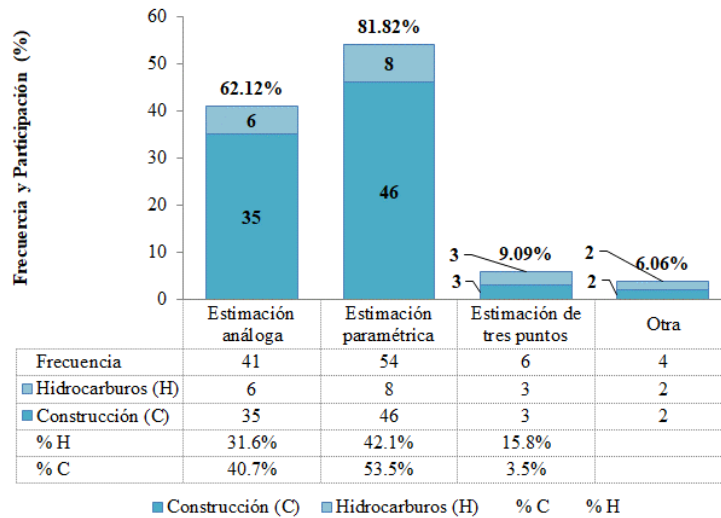


Fuente: elaboración propia.

8.2.3.4. Variable: Duración

En la Ilustración 32 el método de estimación de la duración que más utilizan las empresas es la estimación paramétrica (81.82%) donde se utilizan parámetros como cantidades o productividad (ejemplo: horas/metro cuadrado), seguido de la estimación análoga (62.12%) la cual se basa en utilizar, estimaciones históricas y más en una opinión de expertos (Browning & Yassine, 2010; Sonmez & Uysal, 2014; Yang & Fu, 2014). La estimación de tres puntos involucra escenarios de duraciones en los que podría ejecutarse una actividad, involucra un grado de complejidad mayor, por ser de tipo probabilística (Afruzi et al., 2018). En hidrocarburos por su naturaleza alto riesgo en las primeras fases de los proyectos en la cadena de Upstream es utilizada en un 15.8%, frente a construcción que tan solo el 3.5% de las compañías de la muestra del sector realiza.

Ilustración 32. Estimaciones de Duración

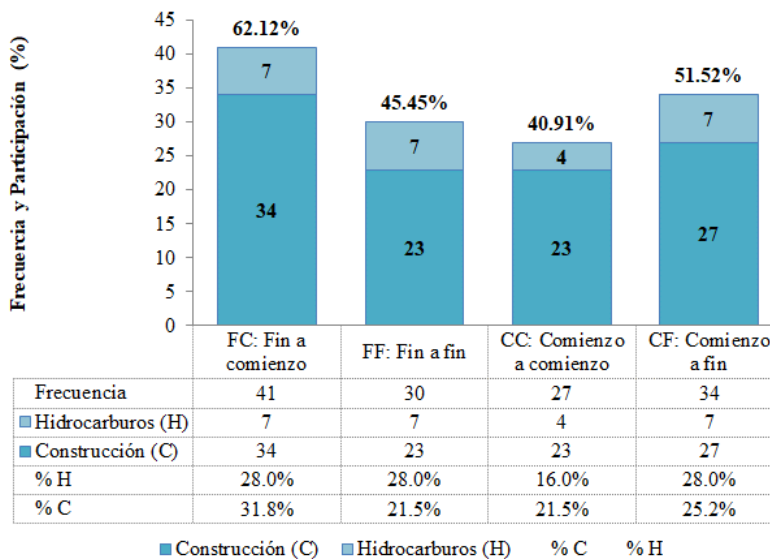


Fuente: elaboración propia.

8.2.3.5. Variable: Relación de Precedencia

El orden secuencial en que se ejecutan las actividades de un proyecto obedece a un orden lógico dado por relaciones de precedencia entre estas (Yassine & Browning, 2010). Se observa en la Ilustración 33 que la relación de precedencias predominante es la relación Fin a Comienzo con un 62.1%, en la mayoría de los proyectos es la relación más común entre actividades, donde la actividad sucesora no puede empezar hasta que haya terminado la predecesora. Sin embargo, las organizaciones respondieron que realizan su programación utilizando todos los tipos de relaciones de precedencia y que está sujeto a la particularidad de cada proyecto (Vanhoucke & Coelho, 2018).

Ilustración 33. Relaciones de Precedencia

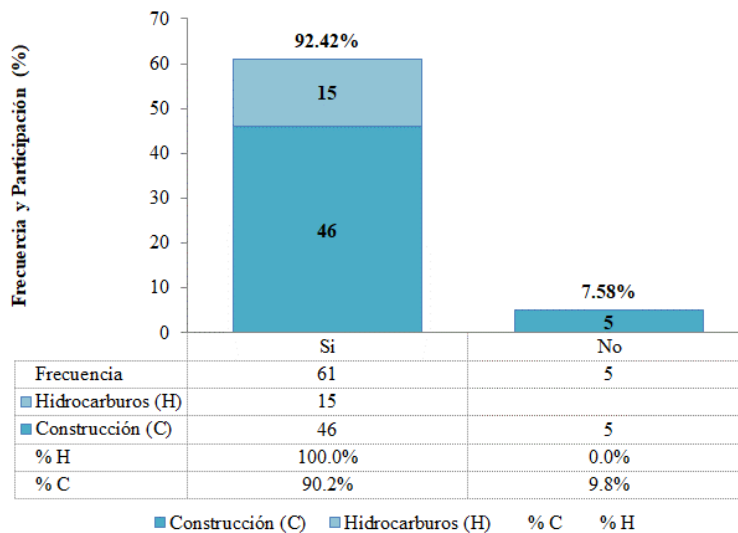


Fuente: elaboración propia

8.2.3.6. Variable: Ruta Crítica

El PMBOK define la ruta crítica como la secuencia de actividades programadas que determina la duración del proyecto, es decir, la secuencia de las actividades críticas que bajo la existencia de un retraso en una de estas actividades retrasaría todo el proyecto, por tanto, la estimación es un elemento de valor para la planeación de proyectos. En la Ilustración 34 como se observa solo el 7.58% de las organizaciones encuestadas no identifica la ruta crítica de sus proyectos, es decir no tiene en cuenta aquellas actividades que afectan directamente la fecha planeada de terminación de un proyecto. En el sector de hidrocarburos el 100% de las empresas encuestadas determina la ruta crítica de sus proyectos, mientras en construcción el 90.2% realiza esta estimación.

Ilustración 34. Ruta Crítica



Fuente: elaboración propia

8.2.4. Constructo: Recursos

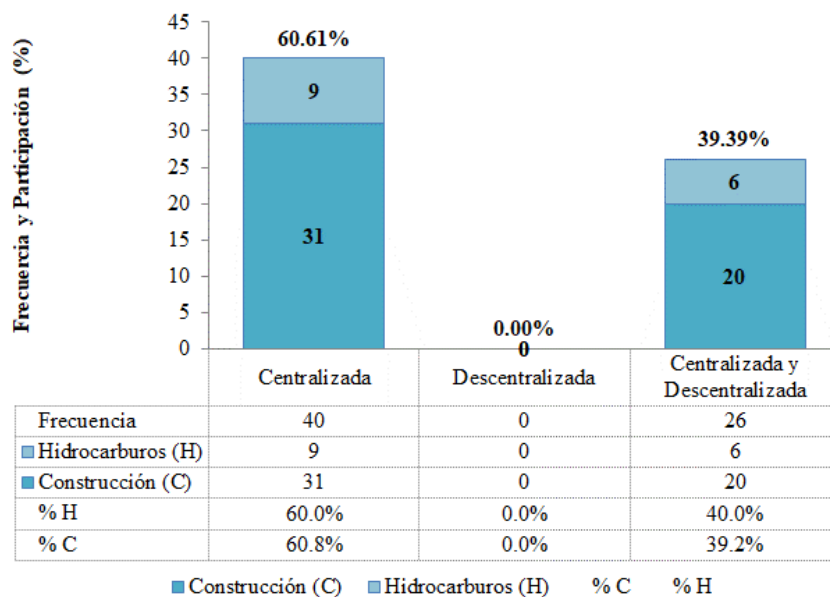
Este constructo caracteriza cómo es el tipo de asignación recursos (centralizada, descentralizada) dentro de la estructura organizacional de las empresas de la muestra, restricciones y tipo de recursos que tienen en cuenta para la programación y ejecución de multiproyectos.

8.2.4.1. Variable: Tipo de Asignación

El tipo de asignación de recursos está relacionado con el tipo de estructura jerárquica que tenga la organización, donde la decisión de asignación de recursos de tipo centralizada obedece la consecución de objetivos globales (Amaya et al., 2018), mientras la asignación descentralizada permite a cada proyecto mantener cierto control sobre sus recursos y por tanto en su programación (Fink & Homberger, 2015). Así el 60.6% de las organizaciones indicaron que la toma de decisión para la asignación de recursos para los proyectos se realiza de manera centralizada (ver Ilustración 35), es decir, un solo agente o grupo toma la decisión de asignación. En contraste, no existen

organizaciones que tengan una toma de decisiones de asignación de recursos netamente descentralizada, mientras una estructura mixta de asignación de recursos se presenta en un 39.2%.

Ilustración 35. Tipo de Asignación de Recursos

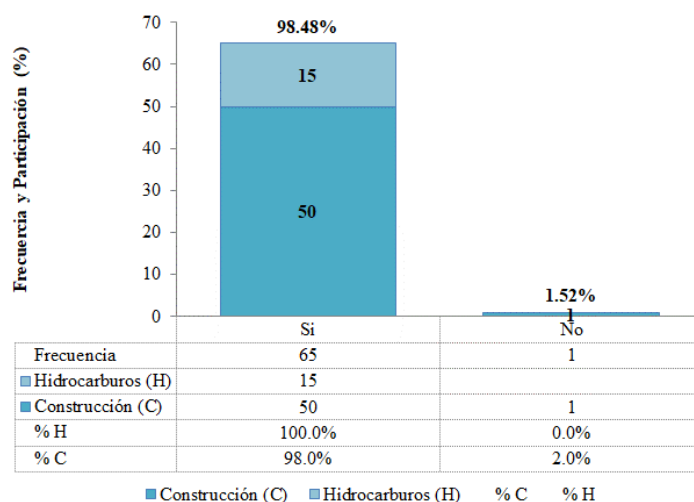


Fuente: elaboración propia

8.2.4.2. Variable: Asignación por Actividad

En la Ilustración 36 se encuentra que la asignación de recursos por actividad es una práctica común dentro la programación de los proyectos con un 98.5% de respuesta afirmativa en las organizaciones. Para el sector de hidrocarburos el 100% de las compañías asignan recursos a cada actividad de los proyectos, frente a un 98% del sector de la construcción.

Ilustración 36. Asignación de Recursos por Actividad

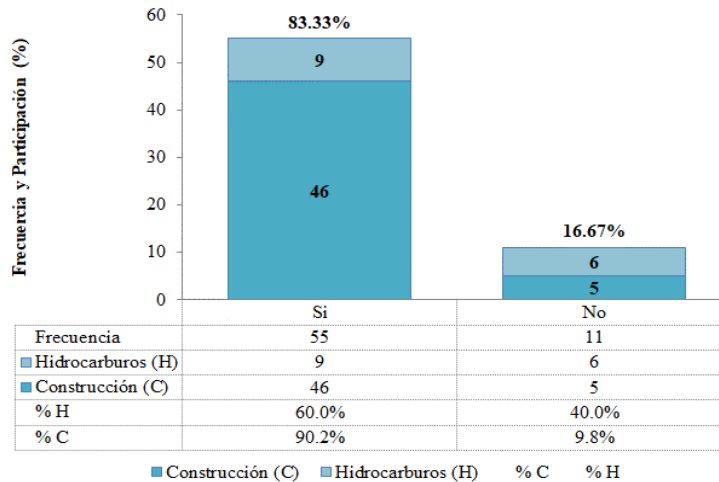


Fuente: elaboración propia

8.2.4.3. Variable: Recursos Globales

Los proyectos que están bajo un ambiente multiproyectos requieren de recursos (mano de obra, materiales, fondos monetarios) para cumplir con los respectivos alcances y objetivos establecidos, para ello las organizaciones disponen de recursos globales, es decir que son compartidos entre los diferentes proyectos de acuerdo con su capacidad disponible (Villafañez et al., 2018). De este modo se identificó que el 83.33% de las organizaciones comparten recursos para desarrollar las actividades de sus proyectos ejecutados en simultáneo. Donde en el sector de la construcción (ver Ilustración 37) el 90.2% los recursos son globales (maquinaria, cuadrillas de personal, herramientas) y un 60% en el sector de hidrocarburos. El 16.7% de la muestra indicaron que los recursos que utiliza para la programación de los proyectos son de tipo local (disponibles solo para un proyecto en particular).

Ilustración 37. Recursos Globales



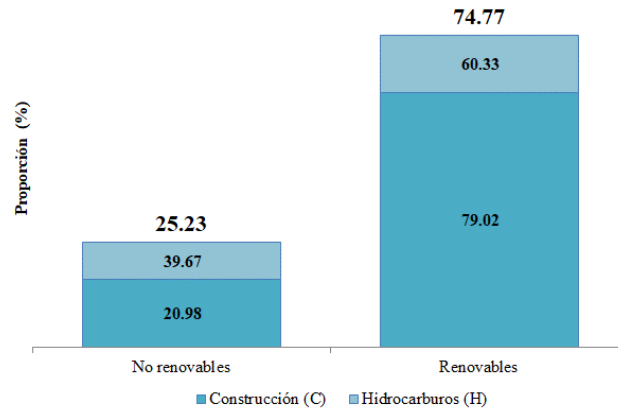
Fuente: Elaboración propia

8.2.4.4. Variable: Tipo de Recursos

Los principales tipos de recursos son de tipo renovable y no renovable. Los primeros son utilizados para realizar más de un proyecto, o en más de una ocasión dentro del mismo proyecto, no se consumen con el uso (maquinaria, mano de obra). Mientras los recursos no renovables se consumen durante la ejecución a medida que se van utilizando, como las materias primas (Hartmann & Briskorn, 2010).

En los sectores de construcción e hidrocarburos se abordó la pregunta de proporción (entre 0%-100%) del tipo de recursos, de esta manera el 74.7% de los recursos de las organizaciones es de tipo renovable (ver Ilustración 38), se utilizan en diferentes tareas, pero no se agotan con su consumo, pero están restringidos en su disponibilidad y en cantidad en los períodos de tiempo de ejecución de los multiproyectos.

Ilustración 38. Recursos Renovables y No Renovables

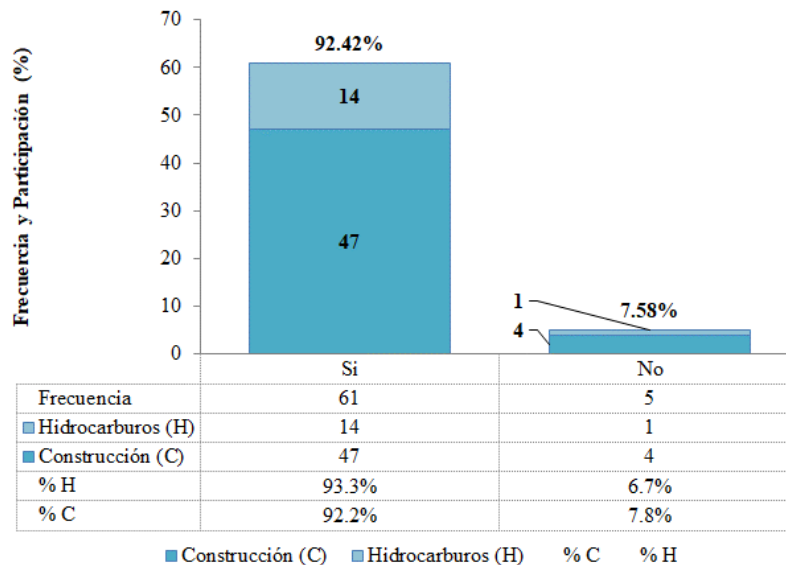


Fuente: elaboración propia

8.2.4.5. Variable: Tiempo de Transferencia

La Ilustración 39 se observa que el 92.2% de las empresas estiman tiempos de transferencia de los recursos compartidos, es decir calculan tiempos de holgura entre actividades entre proyectos para el desplazamiento de los recursos (Amaya et al., 2018; Sonmez & Uysal, 2014). Esto se da por la característica de la ejecución de multiproyectos en diferentes ubicaciones geográficas, como el desarrollo de exploración de pozos petroleros en lugares distintos en el sector de hidrocarburos (Arrieta & Díaz, 2017) o la construcción de obras en ciudades diferentes, lo que conlleva a un tiempo determinado para el traslado de recursos necesarios para el desarrollo de los proyectos.

Ilustración 39. Tiempos de Transferencia



Fuente: elaboración propia

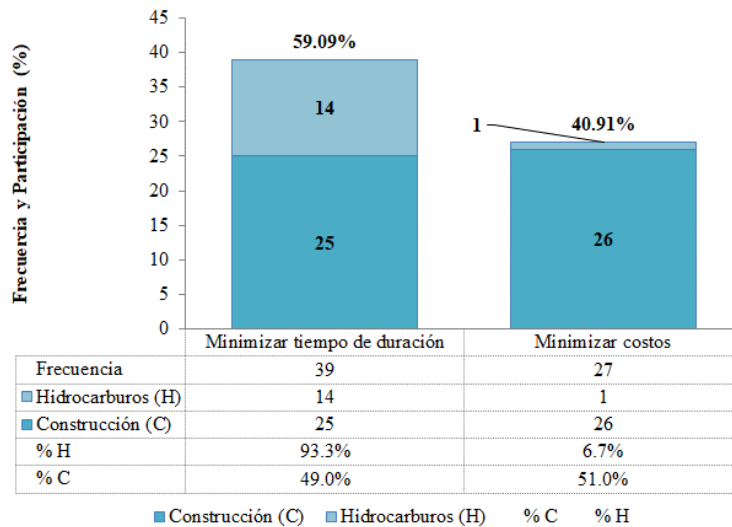
8.2.5. Constructo: Modelo RCMPSP

Este constructo está enfocado en describir el objetivo de programación empleado por las organizaciones a la hora de optimizar la programación de multiproyectos con recursos restringidos, esto a su vez, se traduce en la medida de desempeño (objetivo) de los modelos de optimización al problema RCMPSP. Así mismo, dentro de ese objetivo de programación, se hace necesario conocer la regla de priorización a la hora de asignar los recursos restringidos y si emplean algún método de optimización para lograr con el alcance de los proyectos ejecutados de manera simultánea.

8.2.5.1. Variable: Medida de Desempeño

En cuanto al objetivo de programación de actividades, en la Ilustración 40, se buscó identificar el enfoque principal en cuanto a los objetivos siendo estos: la minimización de tiempo de los proyectos o la minimización de costos. El 59% de las compañías indicaron que minimizar el tiempo de duración es el objetivo; respuesta más notoria para el sector de hidrocarburos, donde el 93.3% seleccionaron el tiempo. En el caso del sector de construcción la respuesta fue dividida con un 51% a favor del objetivo de minimizar los costos frente 49% de empresas que eligieron minimizar el tiempo. Si bien la pregunta buscaba determinar cuál era el enfoque principal 24 empresas de la muestra en ambos sectores expresaron que el objetivo de programación era una combinación de los dos enfoques.

Ilustración 40. Objetivo de programación.



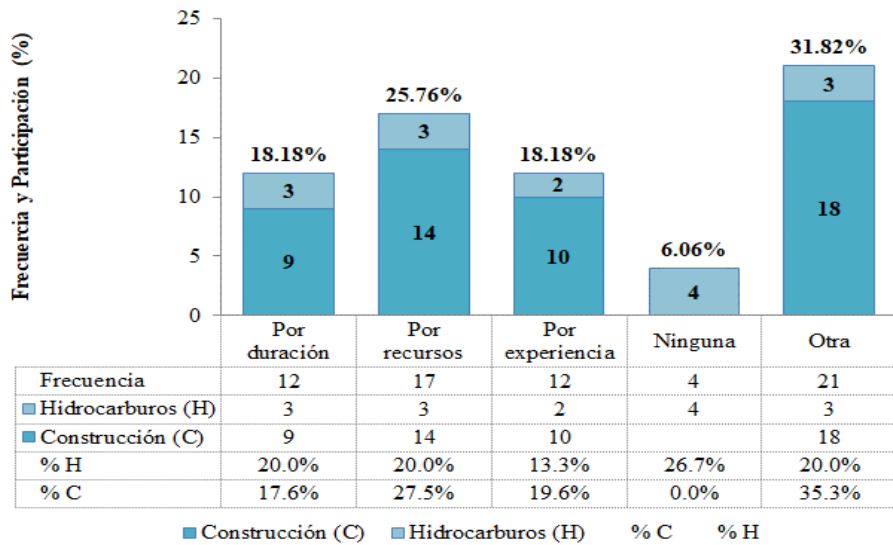
Fuente: elaboración propia

8.2.5.2. Variable: Regla de Prioridad

Se indagó por la regla de prioridad al momento de asignar los recursos, entendida esta como un criterio que permite decidir qué actividades realizar primero manteniendo el orden lógico de la red de programación. Estas reglas se pueden clasificar según lo que el agente decisor en la

programación de los multiproyectos busque o identifique, las principales son aquellas basadas en actividades, recursos, experiencia o compuestas (Kolisch et al., 1995). En la Ilustración 41 se observa que el 32% de las organizaciones expresaron que todas las reglas de prioridad (duración, recursos, experiencia) son utilizadas en la programación de los multiproyectos. Sin embargo, el 26% de los encuestados indicaron que la regla de prioridad corresponde a programar las actividades de acuerdo a la disponibilidad de recursos.

Ilustración 41. Regla de Prioridad.

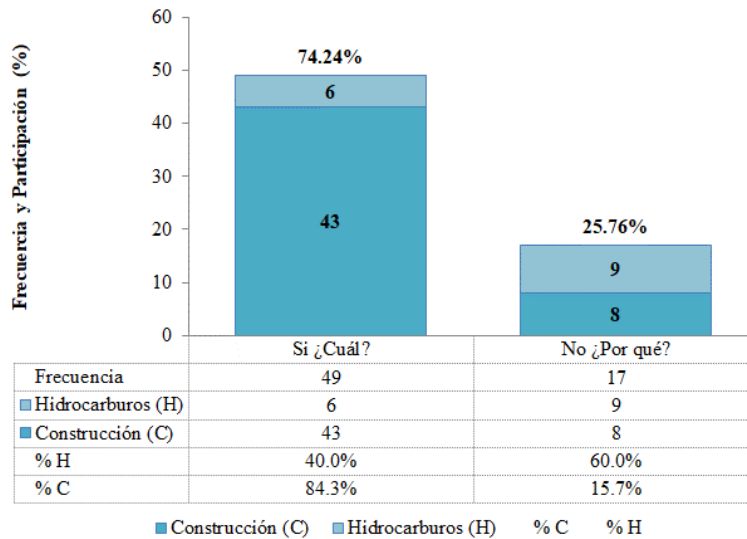


Fuente: elaboración propia

8.2.5.3. Variable: Método de Optimización

En los resultados encontrados para la aplicación de un método de optimización, el 74% de los encuestados indicaron ejecutar algún método como se observa en la Ilustración 42. Sin embargo, los métodos expresados en las respuestas hacen referencia a procesos como planeación, diseños, proyecciones, elaboración de presupuestos, KPI's. Las anteriores respuestas sugieren que los sectores realizan su optimización en la fase de diseño y planeación de proyectos (El-Reedy, 2016).

Ilustración 42. Método de Optimización.



Fuente: elaboración propia

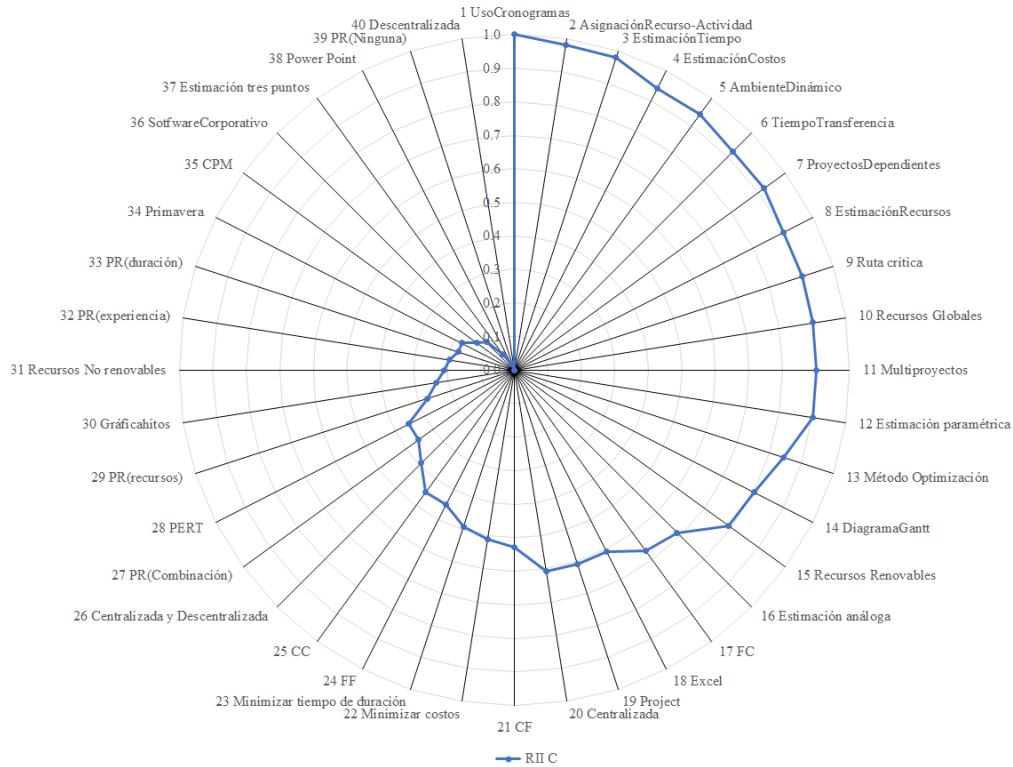
8.3. Análisis de Retos y Oportunidades

El Índice de Importancia Relativa calculado para todas las variables del contexto multiproyectos de los sectores de la construcción y los hidrocarburos permitió establecer las variables más importantes para las organizaciones de acuerdo a l rango de importancia determinado entre 0 y 1. Al contrastar esta importancia con los supuestos teóricos que involucra el funcionamiento del *software* ECI-RCMPSP permitió analizar las oportunidades y retos para la programación de multiproyectos, así como las fortalezas (posibles oportunidades) y amenazas (riesgos).

8.3.1. Análisis RII - Sector de Construcción

El ranking de las categorías (40 en total) asociadas a variables de estudio, según el índice de importancia relativa para el sector de la construcción se puede observar en la Ilustración 43, donde la categoría uso de cronogramas (variable programación) fue la de mayor importancia y las categorías descentralizada (variable tipo asignación de recursos) y ninguna PR (variable reglas de prioridad) fueron las de menor importancia para el sector.

Ilustración 43. Ranking de RII - Sector Construcción



Fuente: elaboración propia

Según la matriz importancia/funcionalidad (Ilustración 20) en la Tabla 11 se encuentran las variables de alta importancia (RII >0.5) frente a la funcionalidad del software ECI-RCMPSP. A partir de esta matriz se establecieron las oportunidades y los retos para la potencial aplicación del software en el contexto del sector de construcción. Y en la Tabla 12, las fortalezas y amenazas, establecidas a partir del RII menor a 0.5 y relacionado con el software.

Se encontró que de las 40 categorías analizadas 15 (38%) se configuraron como oportunidades para el *software* con un RII promedio de 0.82, siendo este de alta importancia. 7 (17%) categorías se configuraron como retos/necesidades con un RII promedio de 0.79, 7 (17%) categorías son fortalezas con un RII promedio de 0.23 y 11 (28%) categorías son amenazas o riesgos con un RII promedio de 0.22. Lo anterior constituye una aplicabilidad del software ECI-RCMPSP para el sector de la construcción del 55%. Siendo mayores las oportunidades del *software* a los retos o necesidades que debe afrontar el software para su aplicación en este sector.

Tabla 11. Oportunidades y Retos - Sector Construcción.

OPORTUNIDAD/RETO	SOFTWARE		VARIABLE
	SI	NO	
ALTA IMPORTANCIA (RII>0.5)			
Uso de Cronogramas	1.00		Programación
Estimación de Tiempo	0.98		Estimaciones
Asignación de Recurso-Actividad	0.98		Asignación por actividad

OPORTUNIDAD/RETO	SOFTWARE		VARIABLE
	SI	NO	
ALTA IMPORTANCIA (RII>0.5)			
Estimación de Costos		0.94	Estimaciones
Ambiente Dinámico		0.94	Ambiente de programación
Tiempo de Transferencia		0.92	Tiempo de transferencia
Proyectos Dependientes		0.92	Proyectos dependientes
Estimación Paramétrica	0.90		Duración
Recursos Globales	0.90		Recursos globales
Estimación de Recursos	0.90		Estimaciones
Ruta Crítica	0.90		Ruta crítica
Ejecución Multiproyectos	0.90		Multiproyectos
Método Optimización	0.84		Método de optimización
Diagrama de Gantt		0.80	Técnica de programación
Recursos Renovables	0.79		Tipo de recursos
Estimación Análoga	0.69		Duración
Relación Fin-Comienzo	0.67		Relación de precedencia
MS Project	0.61		Software de programación
Excel	0.61		Software de programación
Asignación Centralizada	0.61		Tipo de asignación
Relación Comienzo-Fin		0.53	Relación de precedencia
Objetivo: Minimizar Costos		0.51	Medida de desempeño

Fuente: elaboración Propia

8.3.1.1. Oportunidades

En el sector de la construcción los métodos de optimización para la programación de los proyectos y tener una asignación eficiente de los recursos claramente tienen una importancia considerable (RII=0.843). Además, emplean herramientas para realizar su programación y cumplir con sus objetivos de optimización como Excel (RII=0.608) y más avanzadas como MS Project (RII=0.608). Si bien el *Software* ECI-RCMPSP tiene su propia interfaz, es más una herramienta complementaria a las otras dos más que ser una herramienta sustitutiva; esto ya que los inputs necesarios para el *software* lo pueden proporcionar las herramientas de Excel o MS Project. Por esta razón, las oportunidades de aplicación del *software* desarrollado en las fases anteriores de la presente investigación se aumentan en lugar de reducirse. Esta relación de complementariedad de herramientas se da en dos vías, esto es, el *software* ECI-RCMPSP puede alimentarse de información contenida en una hoja de cálculo de Excel o MS Project y por otra vía, uno de sus outputs es nuevamente un archivo Excel que puede alimentar la herramienta de MS Project. Sin embargo, el *software* ECI-RCMPSP no depende de las otras herramientas mencionadas para ejecutar el código bajo reglas de prioridad y optimizar la programación de multiproyectos.

Por otro lado, al agrupar coeficientes de alta importancia relativa y que hacen referencia a los supuestos básicos del modelo RCMPSCP, para el sector de la construcción variables como: el uso de cronogramas (RII=1.0), estimaciones de tiempo (RII=0.98) y asignación de recursos a cada actividad (RII=0.98), identificación de ruta crítica (RII=0.902), estimación de recursos para planear sus proyectos (RII=0.902), ejecución de multiproyectos (RII=0.902) hacen parte de los supuestos clave del modelo básico RCMPSP y, por tanto, el *software* ECI-RCMPSP al ser

programado con estos supuestos, tiene la oportunidad de desempeñarse en el ámbito de la ejecución de proyectos de este sector.

Esta condición, también la cumplen las variables como el empleo de recursos globales y renovables en el sector, los cuales tienen una importancia de $RII=0.902$ y $RII=0.79$ respectivamente, de los recursos utilizados por el sector y para los cuales está configurado el *software* ECI-RCMPSP, se destacan recursos principalmente recursos como la maquinaria amarilla que debe ser compartida y utilizada intensivamente en las obras de edificaciones e infraestructura.

En cuanto a la manera de realizar la relación de actividades en los proyectos del sector, las relaciones de tipo fin a comienzo fueron las más importantes ($RII=0.667$), estando así alineados al supuesto del modelo básico RCMPSP y a la configuración del código del *software* ECI-RCMPSP para ejecutar las reglas de prioridad.

El tipo de estimación y la manera de tomar decisiones en el sector también está alineado con los supuestos del modelo y la programación del *Software*. El tipo de estimación más importante en el sector fue de tipo paramétrica ($RII=0.902$) y análoga ($RII=0.686$). Así pues, las estimaciones son de tipo determinístico, puesto que se basan en utilizar, como estimación, parámetros o el tiempo de una actividad similar realizada anteriormente, lo anterior se evidencia en el tipo de proyectos, edificaciones y obras de infraestructura, donde las actividades tienen altos contenidos de estandarización y tiempos. Por otro lado, las decisiones de asignación de recursos son predominante centralizadas ($RII=0.608$), lo anterior se puede atribuir a la fuerte estructura jerárquica de estas organizaciones y la manera de ejecutar sus proyectos por frentes de trabajo.

8.3.1.2. Retos

Los retos enfrentados por el *software* se identifican en aquellos RII altos y para los cuales el *software* ECI-RCMPSP no satisface la necesidad. Por ejemplo, la estimación de costos importante para el sector ($RII=0.941$) no hace parte de los métodos de optimización usados por el *software* para solucionar el problema de RCMPSP. Lo anterior, constituye una debilidad de la interfaz ante una variable fundamental para el control del presupuesto de los proyectos. En esta línea, para las empresas del sector de la construcción minimizar el costo es relevante dentro de sus objetivos organizacionales a la hora de ejecutar proyectos ($RII=0.510$), si bien no está muy lejos del RII para el objetivo de minimizar la duración ($RII=0.490$), el *software* ECI-RCMPSP no tiene configurado medidas de desempeño con objetivo de costos, reduciendo la aplicación de la herramienta en el entorno sectorial.

Por otro lado, el ambiente dinámico, es decir, la entrada de nuevos proyectos mientras se ejecutan otros proyectos en simultáneo ($RII=0.941$) configura también en reto para el *software*. Esto se debe a que la naturaleza dinámica del sector no es soportada por la programación del *software*, en el cual la solución encontrada de programación de actividades se hace en un ambiente estático para un número determinado de proyectos. Así pues, el *software* ECI-RCMPSP se ve limitado en su aplicación práctica del sector.

Otras variables con la misma condición son: el tiempo de transferencia que se debe tener en cuenta para la transferencia de recursos y su disponibilidad al momento de ejecutar actividades

(RII=0.922) y el incumplimiento de la condición básica donde el producto final de los proyectos debe ser independientes unos de otros (RII=0.922). Ahora bien, la primera condición se atribuye a que las actividades productivas del sector suelen ser ejecutadas en ubicaciones diferentes por lo que estimar tiempos de transferencia y disponibilidad de recursos compartidos es de importancia a la hora de optimizar la asignación de recursos. Por otro lado, el hecho de que la dependencia de proyectos sea importante del sector, se atribuye al hecho de ejecutar proyectos de infraestructura de gran envergadura que pueden ser configurados como programas, es decir, cada producto del proyecto contribuye a un mismo beneficio y por tanto se hacen dependientes unos de otros.

Por último, la relación de precedencias comienzo final, es decir, hasta que una actividad determinada no comience la actividad predecesora no puede terminar, es importante en la industria para más de la mitad de las empresas encuestadas (RII=0.529), sin embargo, esta configuración no está predeterminado por el *software* ECI-RCMPSP, por lo que también reduce su aplicación en el entorno real de las empresas. Por otro lado, la importancia del diagrama de Gantt (RII=0.804) configurado para identificar el tiempo previsto para desarrollar las actividades, pero no identifica la relación que se puedan configurar entre las actividades, indica un amplio uso en la programación de multiproyectos del sector, sin embargo, no contiene información input suficiente para ejecutar el *software* ECI-RCMPSP; por lo que sería un reto para la implementación de la herramienta desarrollada en las fases anteriores. Lo anterior, puede atribuirse a la baja madurez de las organizaciones que aún no emplean técnicas de programación avanzadas, sin embargo, no significa que no usen otras técnicas que puedan suplir las debilidades del diagrama de Gantt para la programación de multiproyectos.

Tabla 12. Fortalezas y Amenazas - Sector Construcción

BAJA IMPORTANCIA (RII<0.5)	SOFTWARE		VARIABLE
	SI	NO	
Objetivo: Minimizar Tiempo	0.49		Medida de desempeño
Relación Final-Final		0.45	Relación de precedencia
Relación Comienzo-Comienzo		0.45	Relación de precedencia
Asignación: Centralizada y Descentralizada		0.39	Tipo de asignación
Estimación PERT		0.35	Técnica de programación
PR: Combinación	0.35		Regla de prioridad
PR: Recursos	0.27		Regla de prioridad
Gráfica de Hitos		0.24	Técnica de programación
Recursos No Renovables		0.21	Tipo de recursos
PR: Experiencia	0.20		Regla de prioridad
Primavera		0.18	Software de programación
PR: Duración	0.18		Regla de prioridad
CPM	0.14		Técnica de programación
Software Corporativo		0.12	Software de programación
Estimación Tres Puntos		0.06	Duración
Power Point		0.02	Software de programación

BAJA IMPORTANCIA (RII<0.5)	SOFTWARE		VARIABLE
	SI	NO	
PR: Ninguna	-		Regla de prioridad
Asignación: Descentralizada		-	Tipo de asignación

Fuente: elaboración Propia

8.3.1.3. Fortalezas (Futuras Oportunidades)

Contrario a lo que se esperaba, el objetivo de desempeño primordial para el *software* ECI-RCMPSP basado en la duración de los proyectos, no tiene importancia relativa entre las empresas del sector de la construcción (RII=0.49). Sin embargo, esto no quiere decir que no sea importante para las organizaciones, principalmente porque los encuestados declararon que el objetivo de programación de los multiproyectos debe ser un equilibrio entre minimizar el tiempo de duración y minimizar los costos. De esta manera, en caso de elegir el objetivo de minimizar el tiempo de duración, la herramienta ECI-RCMPSP suple con este requerimiento en las organizaciones.

En cuanto al tipo de asignación de recursos, se ha dicho que para construcción las decisiones centralizadas son de mayor importancia, sin embargo, existe la presencia de un proceso de decisión combinado entre centralizado y descentralizado (RII=0.392) en el sector. Este caso se da dependiendo el nivel de la decisión. Esto sugiere que la herramienta puede ser empleada al nivel la fase de planeación de proyectos donde las decisiones se realiza por el equipo o persona que planifican los multiproyectos. Ya en la ejecución, con recursos y tiempo estimados producto de la planeación es más común que se presenten decisiones descentralizadas tomadas por los jefes de obra y/o gerentes del proyecto.

En las posiciones más bajas del índice de importancia para el sector de la construcción se encuentran todos los tipos de reglas de prioridad preguntadas en el instrumento de medición. Esto se debe a que, en la práctica, las empresas del sector eligen la regla de prioridad dependiendo del problema de recursos restringidos al que se enfrentan. Esto puede variar dependiendo de la particularidad de la actividad y las características de los recursos asignadas a éstas, por lo que la combinación de reglas de prioridad fue la de mayor importancia relativa (RII=0.353). En todo caso, el *software* ECI-RCMPSP puede ejecutar las distintas reglas de prioridad contrastadas, así como, la combinación de las misas, por lo que se configura una fortaleza de la herramienta desarrollada.

8.3.1.4. Amenazas (Futuros Retos)

Las relaciones de precedencia fin a fin (RII=0.45) y comienzo a comienzo (RII=0.45) son de baja importancia relativa y no hacen parte de la configuración del *software*. Esto es una potencial amenaza en la medida en que este tipo de relaciones se pueden volver importantes para las empresas del sector y el *software* ECI-RCMPSP no está configurado para soportarlas y tenerlas en cuenta para la optimización de los multiproyectos.

Al momento de aplicar la encuesta, la técnica de programación con duraciones probabilísticas tipo PERT (RII=0.353), en línea con la respuesta a cerca de realizar la estimación de tres puntos para la duración de actividades (RII=0.059), no tienen importancia relativa en las empresas. Indicando

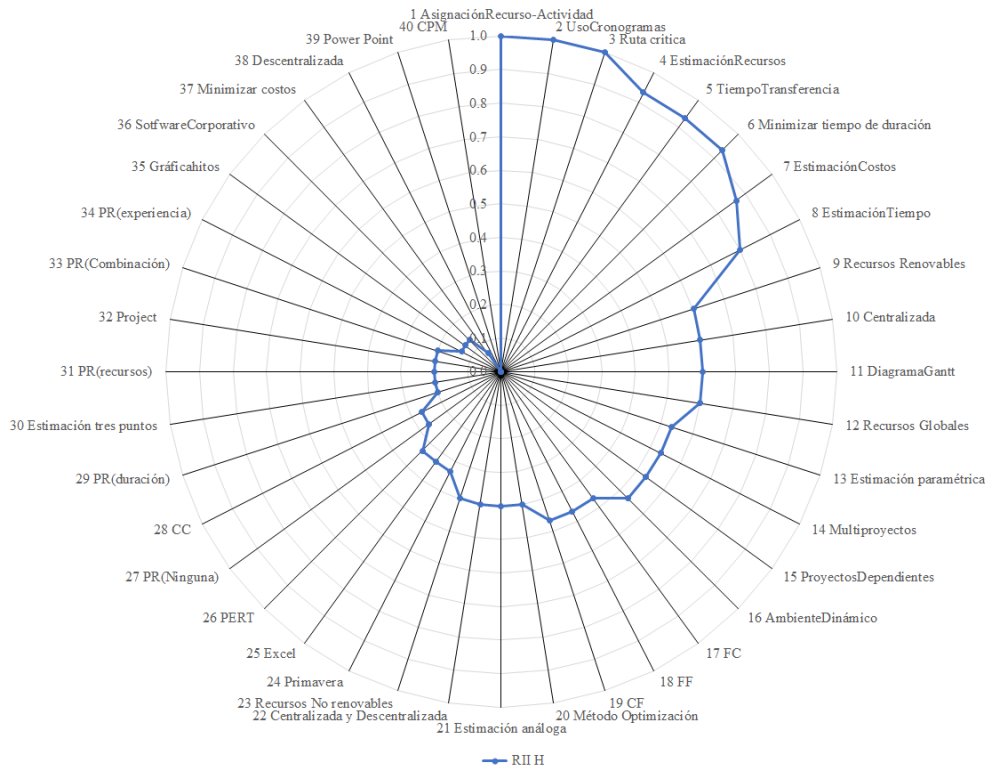
que las empresas del sector de la construcción están alineadas con el supuesto de duraciones determinísticas del modelo básico RCMPSP. Sin embargo, dado el caso, el *software* no puede soportar este tipo de métodos no determinísticos para estimar duraciones, por lo que la herramienta, no tiene campo de aplicación.

En cuanto al *software* de programación, Primavera no hace parte de aquellos más representativos dentro del sector (RII=0.176). Caso similar para la importancia del *software* desarrollado por las propias empresas (RII=0.118), con el agravante, de que los encuestados declararon que son herramientas sustitutivas del *software* ECI-RCMPSP y que, para poder tener una aplicación, éste último debe superar y/o ofrecer mayores ventajas (no especificadas) a los *softwares* corporativos.

8.3.2. Análisis RII - Sector de Hidrocarburos

En el ranking de las respuestas (40 en total) asociadas a variables de estudio, según el índice de importancia relativa para el sector de los hidrocarburos se puede observar en la Ilustración 44. En esta ilustración se muestra que las respuestas uso de cronogramas (variable programación) y asignación de recursos por actividad (variable asignación de recursos) fueron las de mayor importancia y la respuesta CPM (variable técnica de programación) fue las de menor importancia para el sector.

Ilustración 44. Ranking RII – Sector Hidrocarburos



Fuente: elaboración propia

Según la matriz importancia/funcionalidad (Ilustración 20) en la Tabla 13 se encuentran las variables de alta importancia (RII >0.5) frente a la funcionalidad del software ECI-RCMPSP; a

partir de esta tabla se establecieron las oportunidades y los retos para la potencial aplicación del software en el contexto del sector de construcción. En la Tabla 14, las fortalezas y amenazas, establecidas a partir del RII menor a 0.5 y relacionado con el software.

Se encontró que de las 40 categorías analizadas 11 (28%) se configuraron como oportunidades para el *software* con un RII promedio de 0.78, siendo este de alta importancia. 5 (12%) categorías se configuraron como retos o necesidades con un RII promedio de 0.69, 11 (28%) categorías son fortalezas con un RII promedio de 0.25 y 13 (32%) categorías son amenazas o riesgos con un RII promedio de 0.25. Lo anterior constituye una aplicabilidad del software ECI-RCMPSP para el sector de los hidrocarburos del 56%. Siendo mayores las oportunidades del *software* a los retos o necesidades que debe afrontar el software para su aplicación en este sector.

Tabla 13. Oportunidades y Retos – Sector Hidrocarburos

OPORTUNIDAD/RETO ALTA IMPORTANCIA (RII>0.5)	SOFTWARE		VARIABLE
	SI	NO	
Uso de Cronogramas	1.00		Programación
Asignación de Recursos-Actividad	1.00		Asignación de recursos
Ruta Critica	1.00		Ruta crítica
Objetivo: Minimizar Tiempo	0.93		Medida de desempeño
Estimación de Recursos	0.93		Estimaciones
Tiempo de Transferencia		0.93	Tiempo de transferencia
Estimación de Costos		0.87	Estimaciones
Estimación de Tiempo	0.80		Estimaciones
Recursos Renovables	0.60		Tipo de recursos
Diagrama de Gantt		0.60	Técnica de programación
Asignación: Centralizada	0.60		Tipo de asignación
Recursos Globales	0.60		Recursos globales
Ambiente Dinámico		0.53	Ambiente de programación
Proyectos Dependientes		0.53	Proyectos dependientes
Estimación Paramétrica	0.53		Duración
Ejecución Multiproyectos	0.53		Multiproyectos

Fuente: elaboración propia

8.3.2.1. Oportunidades

La ruta crítica representa el conjunto o secuencia de actividades predecesoras/sucesoras que tardarán más tiempo en completarse y por tanto es el tiempo mínimo de un proyecto o del multiproyecto en completarse, donde cualquier retraso conlleva a tiempo y costos adicionales para la terminación. Una de las principales oportunidades del *software* ECI-RCMPSP en el entorno multiproyectos del sector de hidrocarburos es la estimación de la ruta crítica (RII=1.0) para el conjunto de proyectos que planifica ejecutar, debido alto grado de inversión que demandan y la complejidad en las actividades, siendo un procedimiento práctico y de gran utilización en la programación de los proyectos del sector.

La programación de rutas críticas tiene implícito que los proyectos están divididos en actividades donde cada una tienen asociada una estimación de duración, lo cual se evidencia en una gran

importancia en las compañías del sector de hidrocarburos (RII=0.80), y adicionalmente las relaciones de precedencia están definidas entre todas las actividades del cronograma. En la estimación de tiempos, existen diferentes técnicas o metodologías de estimación como juicio de expertos, estimación análoga, estimación tres puntos. El sector de hidrocarburos da una importancia relativa alta (RII=0.53) a la estimación de tipo paramétrica. La particularidad de esta estimación está en que es de tipo determinista (asigna un único valor de duración) y se basa en la relación de estadísticas de datos históricos y parámetros propios de los proyectos como tiempos de exploración sísmica en los campos de hidrocarburos, método de extracción de los combustibles, superficie total. Si bien el sector tiene un alto grado de sofisticación a nivel tecnológico, el tiempo estimado de cada actividad es primordial por su alto costo asociado y al estar basado en datos históricos de los parámetros similares tiene presente las lecciones aprendidas de los proyectos anteriores y por tanto incluye la existencia de riesgos asociados.

Si bien el *software* ECI-RCMPSP tiene la funcionalidad de estimar las rutas críticas de los multiproyectos, sin tener en cuenta las restricciones de recursos, su principal función está enfocada en la optimización de la programación de un ambiente multiproyectos bajo objetivos de minimización de duración ante escenarios de recursos limitados (alineado con el objetivo de minimizar tiempos del sector con un RII=0.93). Es así como en la práctica para el sector de hidrocarburos la estimación de recursos (RII=0.93) y la asignación de los mismo por cada actividad (RII=1.0) son una importancia relativa alta, ocupando los primeros lugares en el ranking para el sector.

La estimación de los recursos de cada actividad del conjunto de proyectos, generalmente esta direccionada al tipo de estructura organizacional, al tipo de recurso asignado y la cantidad necesaria del mismo. Es así, como en las empresas del sector de hidrocarburos la asignación de recursos de manera centralizada tiene una importancia alta (RII=0.60) donde un único agente (entendido como un directivo o una PMO) decide para todos los proyectos la disponibilidad de recursos. La naturaleza del sector de megaproyectos está alineada al enfoque centralizado donde se da mayor relevancia a una optimización dirigida a la consecución de objetivos globales en el conjunto de proyectos.

Con lo anterior, en el sector el índice de importancia relativa para el tipo de recursos asignados está dirigido con un alto índice (RII= 0.60) a recursos renovables y globales. Es decir, son compartidos entre todos los proyectos que conforman el megaproyecto o portafolio organizacional y de tipo renovable por la gran cantidad de mano de obra calificada y la maquinaria necesaria en el desarrollo de proyectos en los procesos de producción y distribución de los hidrocarburos.

Es así como estos factores de una alta importancia para el sector dan una perspectiva de una potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP para encontrar soluciones que optimicen la programación de multiproyectos con recursos restringidos, la cual debe estar destinada a hacer coincidir los recursos de equipo, materiales y mano de obra con las tareas de trabajo del proyecto a lo largo del tiempo. Dando como resultado una programación que permita eliminar problemas, debido a cuellos de botella en los diferentes proyectos de las organizaciones del sector y asegurar la ejecución y por tanto finalización de la cartera de proyectos con éxito. Por el contrario, una programación deficiente puede generar un desperdicio considerable a medida que los trabajadores

y el equipo esperan la disponibilidad de los recursos necesarios o la finalización de las tareas anteriores. Los retrasos en la finalización de un proyecto completo debido a una programación deficiente

8.3.2.2. Retos

Como se mencionó previamente los proyectos de la industria de gas natural y petróleo requieren una cantidad considerable de inversiones y esfuerzos técnicos, por la complejidad en los procesos de descubrimiento y exploración de campos que involucran altos costos operativos y se enfrentan a diferentes factores de riesgo tanto internos como externos, pero sin embargo son proyectos de alto potencial económico y de gran aporte al desarrollo de la economía colombiana y mundial por su nivel de valor agregado, desarrollo tecnológico y encadenamientos sectoriales.

La identificación de los principales retos desde el enfoque metodológico del índice de importancia relativa, se obtuvo que factores de alta importancia que el *software* ECI-RCMPSP no contempla en su estructura de funcionamiento como los tiempos de transferencia (RII=0.93), debido a que muchas compañías del sector operan en diferentes campos de gas natural y petróleo de manera simultánea, pero estos están localizados geográficamente en diferentes puntos, lo cual hace imperativo la estimación de tiempos de traslado de recursos o tiempos de preparación de equipos para su operación y funcionamiento en los diferentes proyectos que conforman el multiproyectos de las organizaciones.

El ambiente dinámico y la dependencia de proyectos son dos variables de alta importancia (RII=0.53) y que se traducen en una necesidad para el *software*, el hecho de incluir nuevos proyectos conlleva aspectos de tipo lógico para asignar recursos y buscar el objetivo de optimización para la reprogramación de actividades.

Tabla 14. Fortalezas y Amenazas – Sector Hidrocarburos

	<i>SOFTWARE</i>		VARIABLE
	BAJA IMPORTANCIA (RII<0.5)	SI NO	
Relación: Comienzo-Final		0.47	Relación de precedencia
Relación: Final-Final		0.47	Relación de precedencia
Relación: Fin-Comienzo	0.47		Relación de precedencia
Método Optimización	0.40		Método de optimización
Centralizada y Descentralizada		0.40	Tipo de asignación
Estimación Análoga	0.40		Duración
Recursos No Renovables		0.40	Tipo de recursos
Excel	0.33		Software de programación
PERT		0.33	Técnica de programación
Primavera		0.33	Software de programación
Relación: Comienzo-Comienzo		0.27	Relación de precedencia
PR: Ninguna	0.27		Regla de prioridad
PR: Recursos	0.20		Regla de prioridad
PR: Duración	0.20		Regla de prioridad
Project	0.20		Software de programación

BAJA IMPORTANCIA (RII<0.5)	SOFTWARE		VARIABLE
	SI	NO	
PR: Combinación	0.20		Regla de prioridad
Estimación tres puntos		0.20	Duración
PR: Experiencia	0.13		Regla de prioridad
Software Corporativo		0.13	Software de programación
Gráfica de Hitos		0.13	Técnica de programación
Minimizar Costos		0.07	Medida de desempeño

Fuente: elaboración Propia

8.3.2.3. Fortalezas (Futuras Oportunidades)

Las variables que bajo el contexto multiproyectos del sector de hidrocarburos medido con el RII no tienen una importancia relativa alta, pero pueden ejercer influencia en algún momento y el *software* ECI-RCMPSP cuenta con la capacidad funcional de acuerdo con su estructura básica teórica para encontrar soluciones de optimización al problema RCMPSP. La relación de precedencia fin a comienzo (RII=0.47) es una fortaleza importante del *software* dado que típicamente la relación lógica de mayor uso en el desarrollo de proyectos y está relacionada más a una restricción de tipo técnico que de recursos, y en el sector de hidrocarburos es utilizada ante el orden secuencial de actividades para el desarrollo de un multiproyecto a nivel de toda la cada productiva (exploración, producción y distribución).

Las reglas de prioridad que son la base heurística del *software* ECI-RCMPSP están enfocadas en diferentes aspectos, tanta duración en actividades, asignación de recursos o por decisión del responsable de la programación de los proyectos. En el sector de hidrocarburos la importancia de utilización de reglas de duración, recursos y una combinación de ambas es baja (RII=0.20), pero las características de un determinado proyecto pueden dar lugar a priorizar aspectos que se conviertan en esenciales a la hora de programar y por tanto optimizar los multiproyectos (lo cual tiene una importancia relativa de 0.40), y el *software* cuenta en su funcionalidad principal con estas variables, que adicionalmente por sus características permiten un uso fácil y rápido, por su baja complejidad, para el encontrar soluciones óptimas.

8.3.2.4. Amenazas (Futuros Retos)

Las principales amenazas que puede convertirse en un reto futuro para el *software* ECI-RCMPSP es la importancia del uso de recursos no renovables (RII=0.40) y asignación de recursos bajo una estructura mixta (centralizada-descentralizada) en la programación de multiproyectos en el sector. Si bien los supuestos teóricos del *software* indican que una asignación de tipo centralizada está orientada a la programación como un gran proyecto con una única ruta crítica, el hecho de una estructura organizacional enfocada también a una gestión descentralizada, donde las decisiones de asignación de recursos son locales y proporcionan libertad a los proyectos individuales (rutas críticas no dependientes), no implica que estos no estén alineados con la estrategia corporativa de las organizaciones, por tanto, en una estructura mixta, debe existir una entidad coordinadora la cual debe organizar y comprobar la asignación de recursos (a nivel táctico-centralizado) y

establecer altos flujos de comunicación con gestores de proyectos individual (a nivel operacional-descentralizado).

8.4. Ajustes al *Software* ECI-RCMPSP

En el entorno empresarial competitivo de hoy en día, los gerentes de proyectos se enfrentan dentro de las empresas por la competencia de recursos limitados. Además, los proyectos se agregan, modifican y eliminan continuamente en respuesta a la actividad comercial y las condiciones cambiantes del mercado (cambios tecnológicos, medio ambiente, demanda, competencia). Por tanto, la planificación de los proyectos requiere una gestión óptima para direccionar y alcanzar los objetivos de las organizaciones (Vanhoucke, 2018) .

Si bien el *software* ECI-RCMPSP es potencialmente aplicable con las variables determinadas de programación de multiproyectos en los sectores de construcción e hidrocarburos, debido a las oportunidades analizadas anteriormente (ver secciones 8.3.1.1 y 8.3.2.1). En la presente investigación se identificaron los retos de mayor índice de importancia relativa para los sectores, retos que se traducen en limitaciones a nivel funcional del *software* ECI-RCMPSP para encontrar soluciones óptimas al problema de multiproyectos con recursos restringidos. Por tanto, fue necesario analizar y proponer posibles ajustes, que en el entorno multiproyectos de las organizaciones pueda aumentar la potencialidad de aplicación del *software*, agregándole mayor flexibilidad (es decir, capaz de resolver el problema RCMPSP con variantes a la definición del modelo básico) para lograr una programación óptima y por tanto beneficios para las empresas.

Los ajustes propuestos al *software* deben enfocarse en superar los retos identificados, definir estrategias para las amenazas analizadas y así el *software* pueda maximizar su impacto en la programación de multiproyectos con recursos restringidos en los sectores estudiados. Para este fin, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman y el nivel de significancia estadística asociado (ver ANEXO 3), para seleccionar las variables dentro de los retos y amenazas que deben ser propuestos como ajustes a la funcionalidad del *software* ECI-RCMPSP. Los coeficientes entre variables se clasificaron como una relación de tipo: muy débil (0-0.19), débil (0.20-0.39), moderada (0.4-0.59), fuerte (0.6-0.79) y muy fuerte (0.8-1) y se estableció un nivel de significancia del 5% (ver Tabla 15)

Tabla 15. Matriz de Correlaciones de Sperman

Variables determinadas como:	IRR Total	Variables con correlación significativas (p-value <= 0,5)												
		Ruta crítica	Estimación de Recursos	Ambiente Dinámico	Proyectos Dependientes	Multiproyectos	Recursos Renovables	Excel	FF	CC	PERT	Recursos No renovables	Primavera	Gráfica de Hitos
Reto														
TiempoTransferencia	0.924	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
EstimaciónCostos	0.924	-	0.71	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AmbienteDinámico	0.848	-	-	-	0.49	0.57	-	-	-	-	-	-	-	-
ProyectosDependientes	0.833	-	-	-	-	0.74	-	-	-	-	-	-	-	-
DiagramaGantt	0.758	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CF	0.515	-	-	-	-	-	-	-	0.28	0.31	-	-	-	-
Amenaza														
FF	0.455	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Minimizar costos	0.409	-	-	0.27	-	-	0.25	0.39	-	-	-	(0.25)	-	-
CC	0.409	-	-	-	-	-	-	-	0.60	-	0.43	-	0.32	-
Centralizada y Descentralizada	0.394	-	-	0.25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PERT	0.348	-	-	-	-	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-
Recursos No renovables	0.252	0.28	-	(0.37)	(0.27)	(0.25)	-	-	-	-	-	-	-	-
Primavera	0.212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.40	-	-	0.28
Gráficahitos	0.212	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SoftwareCorporativo	0.121	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Estimación tres puntos	0.091	-	-	(0.31)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Power Point	0.015	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Fuente: elaboración propia.

8.4.1. Funciones Objetivo

De acuerdo con los resultados (ver Tabla 15) existe una correlación fuerte, positiva y estadísticamente significativa entre la estimación de costos y la estimación de recursos ($\rho = 0.71$). Esto indica que cuando se hacen estimaciones de recursos en los sectores de construcción e hidrocarburos existe una estimación de costos asociada, o viceversa. Sin embargo, como se ha dicho, la estimación de costos (a diferencia de la estimación de recursos) no hace parte de las variables del *software* ECI-RCMPSP para encontrar una solución óptima a la programación de los multiproyectos con recursos restringidos. Mantener el estado de funcionalidad actual frente a la variable de estimación de costo, desaprovecha la información de las compañías para las estimaciones de costos asociados a los recursos por actividad, y disminuye probablemente la potencial aplicación del *software* en el entorno de las compañías de los sectores estudiados. Por esta razón es necesario contemplar funciones objetivo orientadas a la minimización de costos o una configuración multi-objetivos que permitan evaluar soluciones óptimas bajo escenarios de *trade-off* entre tiempo y costos.

Correlaciones positivas y significativas (en el rango débil) para los sectores, se encuentran en la relación entre las variables de minimización de costos y ambiente dinámico ($\rho = 0.27$) y la variable minimización de costos y la variable recursos renovables ($\rho = 0.25$). Esto indica que en las organizaciones de los sectores estudiados donde es permitido la entrada de proyectos mientras se ejecutan otros en simultáneo (84% de los encuestados), tienen como función objetivo la minimización de los costos reforzando la necesidad de realizar el primer ajuste propuesto para el *software*. La relación débil con los recursos renovables sugiere, que cuando se requieren recursos renovables que están disponibles (dada su capacidad) para ser programados en otras actividades del multiproyecto, el objetivo de minimizar el costo es relevante para los sectores.

8.4.2. Ambiente Dinámico y dependencia de proyectos

El ambiente dinámico también se configura como un reto ya que los entornos de mercado para las organizaciones son cada vez más competitivos y la necesidad de nuevos proyectos incrementa la

complejidad en la programación debido a las interdependencias entre actividades que podría amplificar significativamente el problema asignación de recursos limitados. El coeficiente de correlación del ambiente dinámico con la ejecución de multiproyectos en las empresas resultó ser positivo y moderado ($\rho = 0.57$). Este resultado confirma que la situación de entrada y salida de proyectos en los sectores estudiados se da en un entorno de ejecución de multiproyectos que obedece al comportamiento dinámico de los sectores y la necesidad de ajustar las estrategias para la planificación de los proyectos que conforman el multiproyecto, para generar valor agregado y maximizar los beneficios de las compañías. El *software* ECI-RCMPSP debe estar en capacidad de capturar a través de su funcionamiento ambientes dinámicos.

La relación que tiene la variable de ambiente dinámico con la presencia de proyectos dependiente obtuvo una correlación moderada y positiva ($\rho = 0.49$). Esta correlación indica que en los entornos dinámicos de las empresas se presenta la ejecución de proyectos dependientes o, que durante la ejecución de proyectos dependientes existe la situación de entrada y salida de proyectos. Es importante recordar que el 84% de las organizaciones encuestadas tienen un ambiente dinámico y el 83% indicó que existen proyectos dependientes en sus empresas. Sin embargo, la configuración de proyectos dependientes puede establecerse como un tipo de programa, es decir, todos los proyectos están orientados a un objetivo común de la organización más que a objetivos individuales (entregable particular) de cada proyecto.

En este caso, el *software* se enfrenta a un reto ante el supuesto teórico básico dirigido a un modelo de independencia donde se optimizan un conjunto de proyectos con objetivos diferentes que comparten recursos globales restringidos. Debido a que las compañías en los sectores de construcción e hidrocarburos enfatizan la dependencia de proyectos (programas) el *software* ECI-RCMPSP debe determinar soluciones óptimas bajo esta particularidad, ya que si bien al interior de un programa la asignación de recursos al ser las actividades en su gran mayoría de tipo secuencial, no generan conflictos complejos en el proceso de programación de recursos si debe ser un factor para optimizar por parte de las organizaciones.

Ahora bien, El *software* debe estar en capacidad de ejecutar la programación óptima dada la composición de ejecución de proyectos tanto dependientes como independientes.

8.4.3. Relaciones de Precedencia

La relación de precedencia fin a comienzo hace parte de los supuestos básicos del modelo RCMPSP y es el tipo de relación en la cual está configurado el *software* ECI-RCMPSP. Sin embargo, el 51% de las empresas encuestadas, identificaron relaciones de tipo comienzo fin (CF) en sus proyectos y por tanto el *software* no brinda la capacidad funcional para soportar este tipo de relaciones para la secuenciación de actividades en los multiproyectos. Adicionalmente, el tipo de precedencias CF tiene una correlación significativa ($\rho = 0.31$) con las relaciones de tipo comienzo a comienzo (CC) y las relaciones fin a fin (FF) con una correlación de $\rho = 0.28$ (a su vez, las relaciones CC y FF tienen una relación fuerte, $\rho = 0.60$) por lo que el *software* debería contemplar la posibilidad de soportar este tipo de relaciones que no cumplen con el supuesto básico del modelo RCMPSP y son necesarias para una programación óptima en los sectores de construcción e hidrocarburos.

8.4.4. Amenazas Considerables

Como se evidenció anteriormente, el ambiente dinámico de las empresas en los sectores estudiados tiene una importancia significativa (RII mayor a 0.5). Esta variable tiene una relación estadísticamente significativa y positiva con la toma de decisiones de manera centralizada y descentralizada ($\rho = 0,25$). Por otro lado, la ejecución de multiproyectos en simultáneo tiene una relación débil pero significativa con el tipo programación PERT ($\rho = 0,26$). Esto puede indicar que un ambiente de ejecución de multiproyectos en simultáneo donde la decisión de asignación de recursos se hace de manera mixta y existe la programación con tiempos estocásticos (probabilidad). De esta manera, la configuración del *software* debe tener presente el riesgo que representan estas amenazas, puesto que incumplen en gran medida con el método básico para encontrar soluciones óptimas al problema de programación RCMPSP.

8.4.5. Prueba de Kruskal-Wallis

Con el fin de identificar si el *software* ECI-RCMPSP debe tener en cuenta variables que deben ser tratadas de manera diferente dependiendo del sector en que se desempeñe, se realizó la prueba de Kruskal-Wallis (ver ANEXO 4). Esta prueba permite concluir si alguna de las diferencias entre las medianas de los sectores estudiados es estadísticamente significativa y en este caso, el *software* debería tener en cuenta algún tipo de diferenciación entre sectores. En la Tabla 16 se muestran los resultados de las pruebas para aquellas variables donde el p-valor permite rechazar la hipótesis nula y concluir que existe una diferencia significativa en la distribución de las variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP. Para tener un enfoque conservador, se tomó como referencia el p-valor no ajustado como referencia.

Tabla 16. Prueba K-W

Variable	RII	Valor H	p<0,05	RII Construcción	RII Hidrocarburos	Configuración
Ambiente Dinámico	0.848	5.7	0.017	0.941	0.533	Reto
Proyectos Dependientes	0.833	5.16	0.023	0.922	0.533	Reto
Multiproyectos	0.818	4.65	0.031	0.902	0.533	Oportunidad
Estimación Paramétrica	0.818	4.65	0.031	0.902	0.533	Oportunidad
Método de Optimización	0.742	6.73	0.009	0.843	0.400	Oportunidad
Objetivo: Minimizar tiempo de duración	0.591	6.73	0.009	0.490	0.933	Oportunidad
Project	0.515	5.7	0.017	0.608	0.200	Oportunidad
Objetivo: Minimizar costos	0.409	6.73	0.009	0.510	0.067	Amenaza
Recursos No Renovables	0.252	23.08	0	0.210	0.397	Amenaza

Fuente: elaboración propia.

En los resultados se evidencia que existen diferencias significativas en la mediana de variables determinadas de alta importancia (RII) para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP. Todas por encima de un RII de 0.5 a excepción de la variable de minimizar costos y recursos no renovables. El resultado de las pruebas K-W sugiere que los ajustes enfocados a superar los retos de simular el ambiente dinámico de las organizaciones (en cuento a la ejecución de multiproyectos) y la inclusión de programas (proyectos dependientes) es mucho más importante para el sector de

la construcción que de los hidrocarburos. Este resultado se muestra al ver los coeficientes de importancia relativa para cada una de las variables por sectores. Si bien tienen una importancia alta para ambos sectores, la brecha entre los índices de los sectores es significativa y se demuestra con los resultados de la prueba K-W. De acuerdo con lo observado en el sector de la construcción estos ajustes son más importantes, pero no dejan de ser necesarios para aumentar su potencial aplicación en el sector de hidrocarburos.

Por otro lado, existe una diferencia significativa en la variable de función objetivo de minimización de costos para programar las actividades entre los sectores. Siendo esta variable más importante para el sector de la construcción que de los hidrocarburos. Este resultado refuerza el ajuste propuesto al software para optimizar los cronogramas teniendo en cuenta los costos asociados a las actividades.

Los resultados muestran que los ajustes propuestos al *software* ECI-RCMPSP tienen una orientación a las particularidades del sector de la construcción. Sin embargo, los ajustes en cuanto a la capacidad de programación de multiproyectos en entornos dinámicos de las organizaciones y la capacidad de soportar conjuntos de proyectos dependientes e independientes también pueden ser aprovechados en el sector de los hidrocarburos. Por otro lado, al ver el RII para el objetivo de minimizar los costos en los sectores, sugiere que el ajuste propuesto al software respecto a esta variable sea necesario principalmente para el sector de construcción.

9. CONCLUSIONES

Dentro de los aportes a la literatura, en esta investigación se diseñó un instrumento de medición estandarizado usando las variables identificadas alrededor del problema RCMPSP, el cual se validó y aplicó para grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos. De acuerdo con la prueba KR20 los resultados del instrumento fueron confiables y por tanto el instrumento es replicable a organizaciones de diferentes sectores de la economía que presenten el problema RCMPSP. Además, con este instrumento se puede determinar las variables aplicables a la programación de múltiples proyectos con recursos restringidos que se presentan en el contexto de la gerencia de portafolios, programas y proyectos de las organizaciones.

Con este instrumento de medición se determinaron las variables para la programación de multiproyectos en grandes empresas de los sectores de construcción y los hidrocarburos en Bogotá de una muestra estadísticamente representativa de 66 empresas. Se determinó que variables de los supuestos reportados por la literatura alrededor del problema RCMPSP tales como: ejecución de múltiples proyectos de forma simultánea, estimaciones de tiempo y recursos, estimaciones determinísticas de tipo paramétrico y análoga, relaciones de precedencia fin a comienzo (FC), decisiones centralizadas, recursos globales, recursos renovables, minimizar tiempos de duración, aplicación de reglas de prioridad y métodos de optimización se presentaron con alta frecuencia en los sectores de la construcción y los hidrocarburos. Las anteriores variables son soportadas por la funcionalidad del *software* ECI-RCMPSP.

A su vez, variables vistas como extensiones del modelo básico RCMPSP y que no son soportadas por las funcionalidades del *software* ECI-RCMPSP, obtuvieron una alta frecuencia en las organizaciones. Estas variables hacen referencia a la dependencia de proyectos, ambiente dinámico en la programación de múltiples proyectos ejecutados de manera simultánea, estimaciones de los costos de las actividades, relaciones de precedencia diferentes a FC en la red de programación de actividades, asignación de recursos limitados de tipo centralizada y mixtas (centralizada y descentralizada), tiempos de transferencia de los recursos globales a ser utilizados, minimizar costos como función objetivo de programación y la combinación de funciones objetivo (minimizar tiempo y costos).

Con el fin de acortar la brecha entre la teoría del problema RCMPSP y la realidad del ambiente multiproyectos de los sectores de la construcción y los hidrocarburos de las grandes empresas en Bogotá. Se encontró que el empleo de estimaciones de tiempo, asignación de recursos por actividad, estimaciones de tiempo de tipo determinístico y recursos renovables globales, tienen una alta importancia relativa en la programación de multiproyectos de las empresas y se traduce en oportunidades para aprovechar la aplicación del *software* en contextos reales, puesto que esta herramienta soporta este tipo de variables dentro de modelo. Sin embargo, el *software* se enfrenta a retos que debe superar para su potencial aplicación tales como la inclusión de estimaciones de costos de ejecutar las actividades, el ambiente dinámico de las empresas, los tiempos de transferencia entre recursos globales y renovables, la dependencia entre proyectos y funciones objetivo enfocadas a la minimización de costos.

Así pues, teniendo en cuenta las variables determinadas y analizadas en el presente trabajo de grado. En el sector de la construcción, el *software* ECI-RCMPSP tiene una aplicabilidad del 55% con las particularidades del sector; siendo las oportunidades (38%) mayores a los retos identificados (17%). Por otro lado, en el sector de los hidrocarburos, el *software* ECI-RCMPSP tiene una aplicabilidad del 56% con las particularidades del sector; siendo las oportunidades (28%) mayores a los retos identificados (12%).

De esta manera se propuso que los ajustes más importantes a realizar al *software* ECI-RCMPSP para aumentar su potencial aplicabilidad deben estar enfocados principalmente en tres tipos de ajustes: funciones multi-objetivo (duración y costos), optimización de proyectos y programas ejecutados de manera simultánea en ambientes dinámicos y soportar diferentes tipos de relaciones de precedencia de la red de programación. Con estos ajustes, se aumenta la potencialidad de aplicación del *software*, agregándole mayor flexibilidad (aplicabilidad) en los sectores estudiados y a través del cual se lograrían soluciones óptimas al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos que enfrentan las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos y proporcionaría un cronograma óptimo de actividades y recursos a los gerentes de multiproyectos para hacer un uso eficiente de los recursos, monitorear y controlar el desempeño del conjunto de proyectos durante su ejecución en simultáneo.

10. PERSPECTIVAS DE FUTURAS INVESTIGACIONES

- Realizar los ajustes propuestos al *software* ECI-RCMPSP para aumentar su potencial aplicación comercial. Lo anterior, se constituye como la fase 4 de la presente investigación.
- Una vez realizados los ajustes, se recomienda evaluar casos de estudio y experimentos para probar el desempeño del *software* ECI-RCMPSP en ambientes reales de las empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos. Se debe enfocar en establecer si la optimización de la programación a través del *software* tiene un efecto positivo en la obtención de beneficios de las organizaciones. Sin embargo, para evaluar lo anterior se hace necesario contar con la información de los multiproyectos al inicio de la programación y terminación de la programación real de la ejecución de los multiproyectos.
- Analizar la potencial aplicación del software en otros sectores de la economía Colombia con el fin de encontrar nuevos retos y oportunidades que deban ser tenidas en cuenta en el *software* para aumentar su aplicación al contexto empresarial.

ANEXOS

ANEXO 1

En la fase 1 de la presente investigación se desarrolló un *software*, en lenguaje Java, teniendo en cuenta los supuestos teóricos básicos reportados en la literatura para el problema RCMPSP, con el objetivo de medir el desempeño de métodos heurísticos basados en reglas de prioridad utilizados para encontrar soluciones óptimas al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos (Aristizabal et al. 2017).

Al utilizar el *software* el usuario debe proporcionar datos de entrada (input), para lograr datos de salida (output). En los input el usuario debe proveer, entre otros datos, el número de proyectos y actividades, número de recursos y capacidad de recursos globales disponibles, relaciones de precedencia de cada una de las actividades, indicando si es sucesora o predecesora (el *software* asume las relaciones tipo fin-comienzo, es decir, cada actividad deberá finalizar para que la actividad sucesora pueda iniciar), fechas de entrada y finalización de cada proyecto y finalmente debe establecer la duración y el requerimiento de recursos de cada una de las actividades de los proyectos (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017).

Los outputs proporcionan los valores de duración, inicio y final temprano, inicio y final tardío, holgura de cada una de las actividades e indica la ruta crítica por cada uno de los proyectos y la ruta crítica del multiproyecto. Adicionalmente, suministran información de las medidas de desempeño, el orden de ejecución de las actividades, según las reglas de prioridad elegidas (discriminando tiempos y uso de recursos) para las actividades de los multiproyectos, y datos sobre el tiempo computacional utilizado para los cálculos realizados (Amaya et al., 2018; Aristizabal et al., 2017).

En la fase 2 desarrollada por Amaya et al. (2018), se evaluó la capacidad del *software* con diferentes medidas de desempeño (objetivos de programación), particularmente de duración, mediante la combinación de reglas de prioridad para encontrar soluciones óptimas al problema RCMPSP. La evaluación se llevó a cabo con proyectos teóricos (datos no reales usados para simulación) generados para probar métodos de solución al problema RCMPSP, los cuales se encuentran ubicados en una biblioteca virtual denominada Project Scheduling Problem Library (PSPLIB). Esta biblioteca contiene conjuntos de datos para varios tipos de problemas de programación de proyectos con recursos limitados (Amaya et al., 2018).

Se recomienda remitirse a las investigaciones de la fase 1 y la fase 2 para profundizar en el funcionamiento y planteamiento del *software*.

ANEXO 2

En la tabla 17 se presenta información acerca de los expertos que participaron en la validación del instrumento de medición de la presente investigación. La información está restringida para aquellos perfiles no académicos.

Tabla 17. Panel de Expertos

ID	Nombre	Cargo	Años de experiencia en el área de proyectos	Perfil
1	Wilbert Javier Nivia Guevara	Gerente de Consultoría	18	Electronic engineer specialist in project, risk and schedule management with more than seventeen (17) years of experience in projects, programs and portfolios management in the financial, telecommunications and IT sector, with leadership, strategic planning, and capacity for analysis and synthesis skills. (7) years' experience as trainer and consultant in Enterprise Portfolio Management Office - EPMO, and knowledge in management methodologies such as Value Selling (consultative sales), Balanced Scorecard, GAP Assessment of PwC, OPM3®, Microsoft Project Professional 2010, Earned Value Management - EVM and project management, and program management and portfolio management of PMI®, among others. Tomado de: https://www.linkedin.com/in/wilbert-javier-nivia-guevara-b6577a8/?originalSubdomain=co
2	Fredy Carreño Sánchez	Profesor de planta	21	Ingeniero civil, especialista y magíster en desarrollo y gerencia integral de proyectos. Project Management Professional. Experiencia en programación, presupuestos y control, y gestión de programas de Educación continuada. Profesor de la Escuela en pregrado y posgrado. Tomado de: https://www.escuelaing.edu.co/escuela/maestria/gerencia-proyectos/perfiles.html
3	José Arturo Rodríguez	Profesor	20	Ingeniero de Sistemas de la Universidad Autónoma de Colombia, Project Management Professional PMP®, PMI Professional in Business Analysis PMI-PBA®, PMI Agile Certified Practitioner PMI-ACP® y candidato a Maestría de Ingeniería de Sistemas y Computación de la Universidad Nacional de Colombia, Miembro activo del Project Management Institute. Formulador y Estructurador de Proyectos de la Red CTeI (Ciencia Tecnología e Innovación). Mas de 27 años de experiencia en diferentes sectores de la economía: Tecnología, Consultoría, Salud, Educación, Venta Directa, Consumo Masivo, Retail, Financiero, Gobierno, Industria Manufacturera. Experiencia en proyectos de: Gestión de Procesos (BPM), Sistemas Empresariales (ERP), Gestión de Contenido(ECM), Arquitectura Tecnológica, Arquitectura de Negocio, Integración de Sistemas de Información e infraestructura; Proyectos de Mejoramiento continuo, Gestión del Cambio, Logística, Manufactura, Desarrollo de Productos y Distribución. Tomado de:

ID	Nombre	Cargo	Años de experiencia en el área de proyectos	Perfil
				https://www.escuelaing.edu.co/escuela/maestria/gerencia-proyectos/perfiles.html
4	Germán Gutiérrez Pacheco	Profesor	30	<p>Ingeniero civil con maestría en ingeniería de sistemas, Master of Science in Engineering. Master Certificate in Project Management. Project Management Professional (PMP)®. Consultor en gerencia de proyectos. Exgerente de servicios profesionales de NCR, de ingeniería de sistemas de IBM de Colombia y del programa de sistemas mayores de IBM para Latinoamérica. Experiencia nacional e internacional en gerencia y gerencia de proyectos. Experiencia docente en pregrado y posgrado. Miembro y expresidente de la Asociación Colombiana de Ingenieros de Sistemas (Acis). Miembro del Project Management Institute (PMI). Cofundador del Capítulo Santafé de Bogotá del PMI. Profesor de la Escuela Colombiana de Ingeniería, donde se desempeñó también como director de la Unidad de Proyectos.</p> <p>Tomado de: https://www.escuelaing.edu.co/escuela/maestria/gerencia-proyectos/perfiles.html</p>
5	Germán Eduardo Giraldo Gonzalez	Profesor		<p>Ingeniero Industrial con Maestría en Ciencias en Ingeniería Industrial. Project Management Professional PMP® (PMI) y Auditor Interno en Sistemas de Gestión de la Calidad ISO 9001</p> <p>Tomado de: https://www.linkedin.com/in/germ%C3%A1n-eduardo-giraldo-gonzalez-17610816/?originalSubdomain=co</p>
6	Flor Nancy Diaz Piraquive	Directora		<p>Doctorado Universidad Pontificia de Salamanca. Ingeniería informática. Modelo de Gestión de Conocimiento para Gestión de Proyectos km+pmtic</p> <p>Especialización COLEGIO MAYOR NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO. Preparacion y Desarrollo de Proyectos. Estudio de factibilidad de una fábrica de vinos de naranja</p> <p>Especialización COLEGIO MAYOR NUESTRA SEÑORA DEL ROSARIO. Gerencia en Proyectos de Sistemas de Información</p> <p>Tomado de: http://scienti.colciencias.gov.co:8081/cvlac/visualizador/generarCurriculoCv.do?cod_rh=0001202146</p>
7	Pablo Emilio Fajardo Arias	Gerente Operativo, Eje Vertical S.A.S.	8	<p>Arquitecto de la Universidad de la Salle. Especialista en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos de la Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito. Con 8 años de experiencia en el sector de construcción, gerente y coordinador de</p>

ID	Nombre	Cargo	Años de experiencia en el área de proyectos	Perfil
				proyectos en infraestructura civil, industria de la salud, farmacéuticos y comercial. Especialista en gestión y formulación de proyectos.
8	Lina Marcela Gómez Ávila	Asistente Company Man	3	Ingeniera de Petróleos de la Universidad de América. Estudiante de maestría en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Con más de 3 años de experiencia en planeación y ejecución de proyectos de perforación de pozos de aguas subterráneas en La Guajira y pozos de desarrollo en Campo Castilla y Chichimene.
9	PD	Gerente	7	
10	Juan Carlos Caicedo	Gerente de Proyectos en Ingeniería/ CEO de Consultorías Estratégicas	17	Ingeniero Civil de la Universidad Santo Tomás, con 17 años de experiencia en proyectos de construcción en el sector público. Gerente de 46 proyectos de obra pública en Colombia para empresas contratistas del estado. Experto en planeación y control de proyectos de construcción estatal en Colombia.
11	Julio Roberto Reyes Aguilar	Director de Planeación Estratégica Regional	10	Licenciado en Administración de Empresas con Especialización en Finanzas de la Universidad Francisco Marroquín de Guatemala, Master in Business Administration de la Universidad Católica de Chile, con más de 10 años de experiencia en gestión de proyectos, principalmente en el sector de la construcción y materiales relacionados en diferentes países de Centro y Sur América.
12	Luis Carlos Landaeta Bejarano	Profesional en control de proyectos	5	Ingeniero Civil de la Universidad Cooperativa de Colombia, especialista en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. Con más de 5 años de experiencia en proyectos de infraestructura, túneles y central hidroeléctrica pequeña, liderando procesos de planeación y programación de obras.
13	Felipe Nicolas Mora Rusinque	Coordinador de proyectos	6	Ingeniero Civil de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Especialista en Saneamiento Ambiental de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Magister en Finanzas De las Universidad de los Andes, con más de 6 años de experiencia en el sector de la construcción, en manejo y coordinación de proyectos enfocados en metodologías Scrum, Lean Construction, en proceso de Certificación ITIL.
14	Claudia Isabel Ramírez Ángel	Asesor de Planeación Financiera	6	Ingeniera Civil de la Universidad Javeriana, especialista en Administración Financiera de la Universidad de los Andes. Más de 6 años de experiencia en el sector de la construcción, principalmente en coordinación de proyectos de vivienda (13.000 unidades, \$130 M USD)

Fuente: elaboración propia

ANEXO 3

En las ilustraciones 45 y 46 se encuentra la matriz de correlaciones de Spearman y el p-value de significancia calculado a través del *software* MINITAB v18 para las 40 categorías analizadas. Por ejemplo, la prueba de hipótesis para el nivel de relación entre las variables de la variable estimación de costos y estimación de recursos es la siguiente:

Hipótesis nula (H0): no existe asociación entre las dos variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

Hipótesis alternativa (H1): existe una asociación entre las dos variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

En la ilustración 45 se muestra que el p-value es 0.0 por tanto se rechaza la hipótesis nula y se concluye que sí existe una asociación entre las dos variables con un nivel de confianza del 95%. Y así sucesivamente para el restante de las celdas en color verde.

Ilustración 45. Matriz Spearman (1)

Contenido de la celda	Multiproyectos	Estimación Tiempo	Estimación Recursos	Estimación Costos	Proyectos Dependencia	Ambiente Dinámico	Uso Cronogramas	Diagrama Gantt	Gráficas Cálculos	PERT	CPM	Excel	Power Point	Project Primavera	Software Corporativo	Estimación año	Estimación parámetros	Estimación tres	FC
Estimación Tiempo	0.21																		
Estimación Recursos	0.091	0.124	0.141																
Estimación Costos	0.32	0.26																	
Proyectos Dependencia	0.28	0.179	0.706																
Ambiente Dinámico	0.738	0.227	0.141	-0.128															
Uso Cronogramas	0	0.067	0.257	0.306															
Diagrama Gantt	0.568	0.07	0.013	0.039	0.491														
Gráficas Cálculos	0	0.578	0.915	0.758	0														
PERT	0.1	0.004	0.19	0.105	0.032	0.155	*												
CPM	0.424	0.971	0.126	0.4	0.801	0.213	*												
Excel	0.149	-0.024	-0.094	-0.132	0.133	0.013	*	-0.139											
Power Point	0.234	0.851	0.454	0.292	0.289	0.92	*	0.266											
Project Primavera	0.262	0.052	0.121	-0.031	0.156	0.22	*	-0.031	0.087										
Software Corporativo	0.033	0.675	0.334	0.805	0.21	0.075	*	0.802	0.486										
Estimación año	0.162	0.087	0.109	0.099	0.154	0.008	*	-0.15	0.182	0.368									
Estimación parámetros	0.193	0.485	0.384	0.431	0.217	0.947	*	0.231	0.143	0.002									
Estimación tres	0.043	0.023	0.029	0.199	0.082	0.039	*	0.052	0.101	0.284	0.314								
FC	0.732	0.853	0.818	0.11	0.515	0.758	*	0.68	0.417	0.021	0.01								
FF	0.058	0.032	0.039	0.036	0.055	0.052	*	0.07	0.239	0.17	-0.043	0.113							
CC	0.641	0.802	0.755	0.777	0.658	0.676	*	0.576	0.053	0.173	0.733	0.365							
CF	0.25	0.262	0.01	-0.049	0.217	0.266	*	0.229	0.281	0.073	0.039	-0.277	0.12						
Ruta crítica	0.043	0.034	0.939	0.698	0.08	0.031	*	0.064	0.022	0.559	0.757	0.024	0.336						
Centralizada	0.052	-0.024	0.164	0.008	0.033	-0.091	*	-0.052	0.275	0.398	0.182	0.027	0.239	0.058					
Descentralizada	0.676	0.851	0.188	0.946	0.792	0.468	*	0.676	0.026	0.001	0.143	0.829	0.053	0.641					
Centralizada y D	0.055	-0.1	0.117	0.106	0.042	0.027	*	0.102	-0.079	-0.077	0.174	-0.127	-0.046	-0.197	-0.193				
Asignación Recursos	0.663	0.423	0.348	0.395	0.741	0.827	*	0.416	0.528	0.54	0.163	0.309	0.713	0.113	0.121				
Recursos Globales	0.199	0.063	-0.138	-0.224	0.154	0.018	*	0.141	-0.13	-0.084	0.168	-0.086	0.097	0.055	0.023	0.099			
Recursos No renovables	0.11	0.613	0.268	0.071	0.218	0.883	*	0.258	0.299	0.5	0.179	0.495	0.439	0.661	0.854	0.431			
Recursos Renovables	0.491	0.21	0.124	0.013	0.422	0.239	*	0.283	0.052	-0.067	0.035	-0.036	-0.263	0.329	-0.332	0.055	0.037		
Tiempo Transferencia	0	0.091	0.32	0.914	0	0.053	*	0.021	0.676	0.59	0.782	0.775	0.033	0.007	0.006	0.663	0.769		
Minimizar tiempo	0.012	-0.141	-0.083	-0.109	-0.141	-0.307	*	-0.19	0.094	-0.01	0.062	-0.029	-0.039	-0.115	-0.035	-0.117	-0.079	0.012	
Minimizar costos	0.921	0.26	0.506	0.385	0.257	0.012	*	0.126	0.454	0.936	0.62	0.818	0.755	0.358	0.779	0.348	0.528	0.921	
PR (duración)	0.118	0.194	-0.03	0.013	0.07	0.018	*	0.068	0.1	0.112	0.066	-0.023	-0.159	0.18	-0.053	-0.189	0.099	0.199	-0.079
PR (recursos)	0.346	0.118	0.813	0.921	0.577	0.883	*	0.585	0.426	0.37	0.598	0.856	0.203	0.148	0.671	0.13	0.431	0.11	0.528
PR (experiencia)	-0.043	-0.023	0.077	-0.084	-0.082	-0.123	*	0.161	0.196	0.163	-0.018	0.161	0.136	-0.028	0.122	-0.153	-0.103	-0.043	-0.077
PR (ninguna)	0.732	0.853	0.539	0.504	0.515	0.323	*	0.196	0.114	0.192	0.886	0.196	0.277	0.825	0.33	0.221	0.412	0.732	0.539
PR (combinación)	0.153	0.082	0.049	-0.111	0.124	0.094	*	0.111	0.171	0.426	0.214	0.141	0.149	0.191	0.322	-0.12	0.014	-0.087	-0.049
Método Optimización	0.221	0.512	0.698	0.374	0.321	0.454	*	0.374	0.169	0	0.085	0.26	0.232	0.125	0.008	0.336	0.908	0.486	0.698
	0.171	0.135	0.01	-0.163	0.136	0.097	*	0.017	0.133	0.073	-0.06	-0.094	0.12	0.09	-0.016	-0.011	-0.07	0.014	-0.115
	0.169	0.281	0.939	0.19	0.278	0.437	*	0.891	0.289	0.559	0.634	0.452	0.336	0.472	0.9	0.929	0.576	0.909	0.358
	0.31	0.167	0.308	-0.082	0.179	0.039	*	0.239	0.149	0.089	-0.273	-0.261	0.036	0.295	0.008	-0.069	0.013	0.31	0.091
	0.011	0.179	0.012	0.513	0.15	0.758	*	0.053	0.234	0.476	0.026	0.034	0.777	0.016	0.946	0.581	0.921	0.011	0.47
	-0.058	0.055	0.069	0.121	-0.111	-0.254	*	-0.094	-0.113	-0.061	0.076	-0.113	-0.154	-0.224	0.039	0.014	0.01	-0.219	0.039
	0.641	0.66	0.584	0.334	0.375	0.039	*	0.451	0.368	0.626	0.543	0.365	0.217	0.071	0.755	0.909	0.938	0.077	0.755
		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
	0.058	-0.055	-0.069	-0.121	0.111	0.254	*	0.094	0.113	0.061	-0.076	0.113	0.154	0.224	-0.039	-0.014	-0.01	0.219	-0.039
	0.641	0.66	0.584	0.334	0.375	0.039	*	0.451	0.368	0.626	0.543	0.365	0.217	0.071	0.755	0.909	0.938	0.077	0.755
	0.263	0.488	0.392	-0.036	0.277	-0.052	*	0.219	0.064	0.091	0.043	-0.113	0.015	0.128	0.064	0.046	0.159	0.263	0.039
	0.033	0	0.001	0.777	0.024	0.676	*	0.077	0.608	0.469	0.733	0.365	0.902	0.306	0.608	0.713	0.203	0.033	0.755
	0.738	0.227	0.141	-0.128	0.673	0.491	*	0.126	-0.066	0.071	0.022	-0.082	0.055	0.298	-0.166	0.042	0.154	0.632	0
	0	0.067	0.257	0.306	0	0	*	0.312	0.597	0.57	0.861	0.515	0.658	0.015	0.184	0.741	0.218	0	1
	-0.245	-0.067	0.196	0.057	-0.269	-0.368	*	0.149	-0.012	-0.023	-0.102	-0.133	0.154	-0.029	0.19	-0.026	-0.092	-0.217	0.189
	0.048	0.594	0.114	0.649	0.029	0.002	*	0.233	0.924	0.854	0.414	0.287	0.217	0.815	0.127	0.834	0.463	0.08	0.128
	0.245	0.067	-0.196	-0.057	0.269	0.368	*	-0.149	0.012	0.023	0.102	0.133	-0.154	0.029	-0.19	0.026	0.092	0.217	-0.189
	0.048	0.594	0.114	0.649	0.029	0.002	*	0.233	0.924	0.854	0.414	0.287	0.217	0.815	0.127	0.834	0.463	0.08	0.128
	-0.135	-0.073	-0.091	-0.082	-0.128	-0.121	*	-0.028	-0.132	-0.151	0.099	-0.146	0.036	0.066	0.008	0.106	0.013	0.013	0.091
	0.28	0.562	0.47	0.513	0.306	0.333	*	0.821	0.292	0.226	0.431	0.241	0.777	0.599	0.946	0.395	0.921	0.914	0.47
	-0.153	-0.082	-0.049	-0.238	-0.207	-0.266	*	0.033	0.055	-0.168	-0.114	-0.388	0.103	-0.006	0.13	0.215	-0.205	-0.153	0.049
	0.221	0.512	0.698	0.054	0.096	0.031	*	0.794	0.662	0.179	0.363	0.001	0.41	0.964	0.297	0.084	0.099	0.221	0.698
	0.153	0.082	0.049	0.238	0.207	0.266	*	-0.033	-0.055	0.168	0.114	0.388	-0.103	0.006	-0.13	-0.215	0.205	0.153	-0.049
	0.221	0.512	0.698	0.054	0.096	0.031	*	0.794	0.662	0.179	0.363	0.001	0.41	0.964	0.297	0.084	0.099	0.221	0.698
	-0.083	-0.045	-0.261	-0.013	-0.211	0.09	*	-0.008	-0.052	0.067	-0.035	0.115	-0.058	-0.093	-0.149	-0.055	-0.118	-0.185	-0.012
	0.506	0.72	0.034	0.914	0.089	0.474	*	0.947	0.676	0.59	0.782	0.359	0.641	0.458	0.234	0.663	0.346	0.137	0.921
	0.008	0.004	0.066	0.038	0.17	0.056	*	-0.071	0.033	-0.14	-0.203	0.051	-0.073	0.017	-0.221	-0.113	-0.04	0.098	0.055
	0.948	0.972	0.6																

Ilustración 46. Matriz Spearman (2)

Correlaciones		FF	CC	CF	Ruta crítica	Centraliza da	Descentra lizada	Centraliza da y D	Asignació nRecurs	Recursos Globale	Recursos No reno	Recursos Renovab	TiempoTr anseren	Minimizar tiempo	Minimizar costos	PR(duraci ón)	PR(recurs os)	PR(experi encia)	PR(Ningua na)	PR(Comb inación)	Método Optimizac
Contenido de la celda	Valor p	0.602																			
		0																			
		0.277	0.314																		
		0.024	0.01																		
		0.146	0.122	0.181																	
		0.241	0.33	0.147																	
		-0.074	-0.023	0.024	0.004																
		0.557	0.855	0.846	0.977																
		*	*	*	*	*															
		*	*	*	*	*	*														
		0.074	0.023	-0.024	-0.004	-1	*														
		0.557	0.855	0.846	0.977	*	*														
		0.113	0.103	0.128	0.433	-0.1	*	0.1													
		0.365	0.41	0.306	0	0.424	*	0.424													
		-0.082	0.041	0.136	0.333	-0.194	*	0.194	0.277												
		0.515	0.742	0.278	0.006	0.118	*	0.118	0.024												
		0.031	-0.138	-0.131	0.283	0.156	*	-0.156	0.214	-0.229											
		0.804	0.269	0.295	0.022	0.212	*	0.212	0.084	0.064											
		-0.031	0.138	0.131	-0.283	-0.156	*	0.156	-0.214	0.229	-1										
		0.804	0.269	0.295	0.022	0.212	*	0.212	0.084	0.064	*										
		0.031	-0.111	-0.049	-0.082	0.004	*	-0.004	-0.036	0.026	-0.037	0.037									
		0.803	0.374	0.698	0.513	0.977	*	0.977	0.777	0.838	0.768	0.768									
		0.141	0.066	0.241	0.111	0.023	*	-0.023	0.149	-0.207	0.249	-0.249	0.228								
		0.26	0.601	0.051	0.374	0.855	*	0.855	0.232	0.096	0.044	0.044	0.066								
		-0.141	-0.066	-0.241	-0.111	-0.023	*	0.023	-0.149	0.207	-0.249	0.249	-0.228	-1							
		0.26	0.601	0.051	0.374	0.855	*	0.855	0.232	0.096	0.044	0.044	0.066	*							
		-0.115	-0.153	-0.093	-0.162	0.139	*	-0.139	-0.263	-0.211	-0.136	0.136	0.135	-0.087	0.087						
		0.359	0.221	0.458	0.194	0.266	*	0.266	0.033	0.089	0.278	0.278	0.28	0.486	0.486						
		0.019	0.003	-0.053	0.038	-0.305	*	0.305	0.073	0.17	-0.062	0.062	-0.224	-0.144	0.144	0.248	0.248	0.024			
		0.88	0.98	0.675	0.764	0.013	*	0.013	0.56	0.171	0.623	0.623	0.07	0.248	0.248	0.248	0.248	0.024			
		0.043	-0.073	0.222	0.135	-0.022	*	0.022	0.058	0.105	-0.017	0.017	-0.013	0.153	-0.153	-0.222	-0.278				
		0.732	0.562	0.074	0.28	0.861	*	0.861	0.641	0.4	0.893	0.893	0.914	0.221	0.221	0.073	0.024				
		0.151	-0.082	-0.135	0.073	0.075	*	-0.075	0.032	-0.398	0.284	-0.284	0.073	0.211	-0.211	-0.12	-0.15	-0.12			
		0.227	0.512	0.281	0.562	0.55	*	0.55	0.802	0.001	0.021	0.021	0.562	0.088	0.088	0.338	0.231	0.338			
		-0.036	0.226	0.012	-0.05	0.151	*	-0.151	0.085	0.131	0.039	-0.039	0.073	-0.027	0.027	-0.322	-0.402	-0.322	-0.174		
		0.776	0.069	0.925	0.688	0.225	*	0.225	0.499	0.295	0.758	0.758	0.562	0.829	0.829	0.008	0.001	0.008	0.164		
		-0.158	0.067	0.053	-0.038	-0.191	*	0.191	0.211	0.294	-0.32	0.32	0.093	-0.067	0.067	0.008	0.109	-0.351	-0.286	0.328	
		0.205	0.592	0.675	0.764	0.124	*	0.124	0.09	0.016	0.009	0.009	0.456	0.592	0.592	0.948	0.383	0.004	0.02	0.007	

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos de MINITAB v18

ANEXO 4

En las ilustraciones 47 y 48 se encuentran los resultados de las pruebas K-W y el p-value calculados a través del *software* MINITAB v18 para las 40 categorías analizadas. Por ejemplo, para la variable multiproyectos la prueba de hipótesis fue la siguiente:

Hipótesis nula (H0): Entre los sectores de la construcción y los hidrocarburos No existe una diferencia significativa en la mediana de las variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

Hipótesis alternativa (H1): Entre los sectores de la construcción y los hidrocarburos existe una diferencia significativa en la mediana de las variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

En la ilustración 47 se observa que la prueba K-W para la variable de respuesta Multiproyectos por los niveles de los sectores de construcción e hidrocarburos el p-value es 0.031, el cual indica que se rechaza la hipótesis nula por tanto hay una diferencia significativa en la potencial aplicación del *software* para los multiproyectos. Para el ejemplo específico, en la tabla 1 de la ilustración 47 se muestra que ésta variable tiene mayor incidencia en el sector de la construcción que en hidrocarburos para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP.

Ilustración 47. Resultados K-W (1)

1 Prueba de Kruskal-Wallis: Multiproyectos vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	36.3	2.16
Hidrocarburos	15	1	24.1	-2.16
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	4.65	0.031	
Ajustado para empates	1	10.43	0.001	

2 Prueba de Kruskal-Wallis: EstimaciónTiempo vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	34.9	1.06
Hidrocarburos	15	1	28.9	-1.06
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	1.11	0.291	
Ajustado para empates	1	6.52	0.011	

3 Prueba de Kruskal-Wallis: EstimaciónRecursos vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	33.3	-0.18
Hidrocarburos	15	1	34.3	0.18
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.03	0.854	
Ajustado para empates	1	0.14	0.712	

4 Prueba de Kruskal-Wallis: EstimaciónCostos vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	34.1	0.44
Hidrocarburos	15	1	31.6	-0.44
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.19	0.663	
Ajustado para empates	1	0.91	0.341	

5 Prueba de Kruskal-Wallis: ProyectosDependientes vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	36.4	2.27
Hidrocarburos	15	1	23.6	-2.27
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	5.16	0.023	
Ajustado para empates	1	12.39	0	

6 Prueba de Kruskal-Wallis: AmbienteDinámico vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	36.6	2.39
Hidrocarburos	15	1	23.1	-2.39
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	5.7	0.017	
Ajustado para empates	1	14.77	0	

7 Prueba de Kruskal-Wallis: UsoCronogramas vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	33.5	0
Hidrocarburos	15	1	33.5	0
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0	1	
Ajustado para empates	1	*	*	

8 Prueba de Kruskal-Wallis: DiagramaGantt vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	35	1.19
Hidrocarburos	15	1	28.3	-1.19
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	1.42	0.233	
Ajustado para empates	1	2.58	0.108	

9 Prueba de Kruskal-Wallis: Gráficahitos vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	34.3	0.6
Hidrocarburos	15	0	30.9	-0.6
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.36	0.551	
Ajustado para empates	1	0.71	0.399	

10 Prueba de Kruskal-Wallis: PERT vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	33.6	0.11
Hidrocarburos	15	0	33	-0.11
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.01	0.909	
Ajustado para empates	1	0.02	0.889	

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos de MINITAB v18

Ilustración 48. Resultados K-W (2)

11 Prueba de Kruskal-Wallis: CPM vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	34.5	0.8
Hidrocarburos	15	0	30	-0.8
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.65	0.422	
Ajustado para empates	1	2.27	0.132	

12 Prueba de Kruskal-Wallis: Excel vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	35.6	1.61
Hidrocarburos	15	0	26.5	-1.61
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	2.58	0.108	
Ajustado para empates	1	3.47	0.063	

13 Prueba de Kruskal-Wallis: Power Point vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	33.6	0.11
Hidrocarburos	15	0	33	-0.11
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.01	0.909	
Ajustado para empates	1	0.29	0.588	

14 Prueba de Kruskal-Wallis: Project vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	36.6	2.39
Hidrocarburos	15	0	23.1	-2.39
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	5.7	0.017	
Ajustado para empates	1	7.6	0.006	

15 Prueba de Kruskal-Wallis: Primavera vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	32.3	-0.92
Hidrocarburos	15	0	37.5	0.92
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.84	0.359	
Ajustado para empates	1	1.68	0.195	

16 Prueba de Kruskal-Wallis: SoftwareCorporativo vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	33.4	-0.09
Hidrocarburos	15	0	33.9	0.09
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.01	0.927	
Ajustado para empates	1	0.03	0.871	

17 Prueba de Kruskal-Wallis: Estimación análoga vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	35.6	1.68
Hidrocarburos	15	0	26.2	-1.68
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	2.81	0.094	
Ajustado para empates	1	3.98	0.046	

18 Prueba de Kruskal-Wallis: Estimación paramétrica vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	36.3	2.16
Hidrocarburos	15	1	24.1	-2.16
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	4.65	0.031	
Ajustado para empates	1	10.43	0.001	

19 Prueba de Kruskal-Wallis: Estimación tres puntos vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	32.4	-0.83
Hidrocarburos	15	0	37.1	0.83
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.68	0.409	
Ajustado para empates	1	2.75	0.097	

20 Prueba de Kruskal-Wallis: FC vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	35	1.17
Hidrocarburos	15	0	28.4	-1.17
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	H ₀ : Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	H ₁ : Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	1.37	0.242	
Ajustado para empates	1	1.94	0.164	

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos de MINITAB v18

Ilustración 49. Resultados K-W (3)

21 Prueba de Kruskal-Wallis: FC vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	35	1.17
Hidrocarburos	15	0	28.4	-1.17
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	1.37	0.242	
Ajustado para empates	1	1.94	0.164	

22 Prueba de Kruskal-Wallis: CC vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	34.9	1.08
Hidrocarburos	15	0	28.8	-1.08
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	1.16	0.281	
Ajustado para empates	1	1.6	0.205	

23 Prueba de Kruskal-Wallis: CF vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	34	0.37
Hidrocarburos	15	0	31.9	-0.37
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.13	0.713	
Ajustado para empates	1	0.18	0.671	

24 Prueba de Kruskal-Wallis: Ruta crítica vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	32.8	-0.57
Hidrocarburos	15	1	36	0.57
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.33	0.566	
Ajustado para empates	1	1.57	0.211	

25 Prueba de Kruskal-Wallis: Centralizada vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	33.6	0.05
Hidrocarburos	15	1	33.3	-0.05
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0	0.963	
Ajustado para empates	1	0	0.957	

26 Prueba de Kruskal-Wallis: Descentralizada vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	26	-5.85
Hidrocarburos	15	0	59	5.85
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
GL	Valor H	Valor p		
1	34.25	0		

27 Prueba de Kruskal-Wallis: Centralizada y Descentralizada vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	33.4	-0.05
Hidrocarburos	15	0	33.7	0.05
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0	0.963	
Ajustado para empates	1	0	0.957	

28 Prueba de Kruskal-Wallis: Asignación Recurso-Actividad vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	33.4	-0.11
Hidrocarburos	15	1	34	0.11
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.01	0.909	
Ajustado para empates	1	0.29	0.588	

29 Prueba de Kruskal-Wallis: Recursos Globales vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	35.8	1.77
Hidrocarburos	15	1	25.8	-1.77
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	3.12	0.077	
Ajustado para empates	1	7.49	0.006	

30 Prueba de Kruskal-Wallis: Recursos No renovables vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0.2	27.3	-4.8
Hidrocarburos	15	0.4	54.4	4.8
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	23.08	0	
Ajustado para empates	1	24.37	0	

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos de MINITAB v18

Ilustración 50. Resultados K-W (4)

31 Prueba de Kruskal-Wallis: Recursos Renovables vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0.8	39.7	4.8
Hidrocarburos	15	0.6	12.6	-4.8
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	23.08	0	
Ajustado para empates	1	24.37	0	

32 Prueba de Kruskal-Wallis: TiempoTransferencia vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	33.4	-0.07
Hidrocarburos	15	1	33.8	0.07
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0	0.945	
Ajustado para empates	1	0.02	0.881	

33 Prueba de Kruskal-Wallis: Minimizar tiempo de duración vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	30.2	-2.59
Hidrocarburos	15	1	44.8	2.59
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	6.73	0.009	
Ajustado para empates	1	9.27	0.002	

34 Prueba de Kruskal-Wallis: Minimizar costos vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	36.8	2.59
Hidrocarburos	15	0	22.2	-2.59
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	6.73	0.009	
Ajustado para empates	1	9.27	0.002	

35 Prueba de Kruskal-Wallis: PR(duración) vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	33.3	-0.14
Hidrocarburos	15	0	34.1	0.14
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.02	0.89	
Ajustado para empates	1	0.04	0.837	

36 Prueba de Kruskal-Wallis: PR(recursos) vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	34.1	0.44
Hidrocarburos	15	0	31.6	-0.44
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.19	0.663	
Ajustado para empates	1	0.33	0.565	

37 Prueba de Kruskal-Wallis: PR(experiencia) vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	34	0.37
Hidrocarburos	15	0	31.9	-0.37
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.13	0.713	
Ajustado para empates	1	0.3	0.583	

38 Prueba de Kruskal-Wallis: PR(Ninguna) vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	31.5	-1.56
Hidrocarburos	15	0	40.3	1.56
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	2.44	0.119	
Ajustado para empates	1	14.26	0	

39 Prueba de Kruskal-Wallis: PR(Combinación) vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	0	34.6	0.9
Hidrocarburos	15	0	29.6	-0.9
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	0.8	0.371	
Ajustado para empates	1	1.23	0.267	

40 Prueba de Kruskal-Wallis: Método Optimización vs. Sector

Estadísticas descriptivas				
Sector	N	Mediana	Clasificación de medias	Valor Z
Construcción	51	1	36.8	2.59
Hidrocarburos	15	0	22.2	-2.59
General	66		33.5	
Prueba				
Hipótesis nula	Ho: Todas las medianas son iguales			
Hipótesis alterna	Hi: Al menos una mediana es diferente			
Método	GL	Valor H	Valor p	
No ajustado para empates	1	6.73	0.009	
Ajustado para empates	1	11.72	0.001	

Fuente: elaboración propia con base en los cálculos de MINITAB v18

REFERENCIAS

- Achuthan, N. R., & Hardjawidjaja, A. (2002). Project Scheduling under Time Dependent Costs – A Branch and Bound Algorithm. *Annals of Operations Research*, 108, 55–74.
- ACP. (2018). *Informe Estadístico Petrolero*.
- Adhau, S., Mittal, M. L., & Mittal, A. (2012). Engineering Applications of Artificial Intelligence A multi-agent system for distributed multi-project scheduling : An auction-based negotiation approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 25(8), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2011.12.003>
- Afruzi, E., Aghaie, A., & Najafi, A. (2018). Robust Optimization for the Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem with Uncertain Activity Durations. *Scientia Iranica*, 0(0), 0–0. <https://doi.org/10.24200/sci.2018.20801>
- Amaya, N., Ayala, M., Doncel, R., & Sarmiento, O. (2018). *Análisis de la combinación de metodologías basadas en reglas de prioridad para la solución de problemas de programación de múltiples proyectos con recursos restringidos (RCMPSP)* (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito). Retrieved from <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/794>
- ANDI, A. N. de I. (2017). *Colombia: Balance 2017 y Perspectivas 2018*. Retrieved from <http://www.andi.com.co/Uploads/ANDIBalance2017Perspectivas2018.pdf>
- ANH. (2018). Agencia Nacional de Hidrocarburos. Retrieved from <http://www.anh.gov.co/Paginas/inicio/defaultANH.aspx>
- Araszkiwicz, K. (2017). Application of Critical Chain Management in Construction Projects Schedules in a Multi-Project Environment: A Case Study. *Procedia Engineering*, 182, 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.03.108>
- Araújo, J., Pajares, J., & Lopez, A. (2010). Simulating the dynamic scheduling of project portfolios. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 18(10), 1428–1441. <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2010.04.008>
- Aristizabal, D., Castellanos, J., & Ordoñez, C. (2017). *Identificación y análisis de métodos heurísticos basados en reglas de prioridad para la solución de problemas de programación de múltiples proyectos con recursos restringidos (RCMPSP)* (Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito). Retrieved from <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/642>
- Arrieta, M., & Díaz, M. (2017). *Factores que afectan el uso de prácticas de gestión del riesgo en los proyectos del sector minero energético en Colombia* (Universidad Externado de Colombia). Retrieved from <https://bdigital.uexternado.edu.co/handle/001/383>
- Baker, K. (1974). Sequencing with due-dates and early start times to minimize maximum tardiness. *Naval Research Logistics Quarterly*, 21, 171–176.
- Beşikci, U., Bilge, Ü., & Ulusoy, G. (2014). Multi-Mode Resource Constrained Multi-Project Scheduling and Resource Portfolio Problem. *European Journal of Operational Research*, 240(1), 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.06.025>

- BP. (2018). 67 th edition Contents is one of the most widely respected. *Statistical Review of World Energy*, 1–56. Retrieved from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2018-full-report.pdf>
- Browning, T. R., & Yassine, A. A. (2010). A random generator of resource-constrained multi-project network problems. *Journal of Scheduling*, 13(2), 143–161. <https://doi.org/10.1007/s10951-009-0131-y>
- Brucker, P., Drexl, A., Rolf, M., Pesch, E., & Neumann, K. (1999). Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods. *European Journal of Operational Research*, 112(1), 3–41.
- Cabeza, L. F., Palacios, A., Serrano, S., Üрге-vorsatz, D., & Barreneche, C. (2018). Comparison of past projections of global and regional primary and final energy consumption with historical data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82(October 2016), 681–688. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.073>
- Camacol, C. C. de la C. (2018). *Construyendo colombia 2018-2022*. Retrieved from <https://camacol.co/sites/default/files/documentosinteres/Propuestas Sectoriales 2018-2022 - Síntesis.pdf>
- Chakraborty, R. K., Sarker, R. A., & Essam, D. L. (2016). Multi-mode resource constrained project scheduling under resource disruptions. *Computers and Chemical Engineering*, 88, 13–29. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2016.01.004>
- Chaparro, V., & Castañeda, J. (2015). *Ambiente multi proyectos con recursos restringidos: una revision del estado del arte* (Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas). Retrieved from [http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2885/1/AMBIENTE MULTI-PROYECTOS CON RECURSOS RESTRINGIDOS UNA REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE %281%29.pdf](http://repository.udistrital.edu.co/bitstream/11349/2885/1/AMBIENTE%20MULTI-PROYECTOS%20CON%20RECURSOS%20RESTRINGIDOS%20UNA%20REVISI%20N%20DEL%20ESTADO%20DEL%20ARTE%20%281%29.pdf)
- Chen, Z., Demeulemeester, E., Bai, S., & Guo, Y. (2018). Efficient priority rules for the stochastic resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 270(3), 957–967. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.04.025>
- Confessore, G., Giordani, S., & Rismondo, S. (2007). A market-based multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling. *Annals of Operations Research*, 150(1), 115–135. <https://doi.org/10.1007/s10479-006-0158-9>
- DANE, D. A. N. de E. (2018). Estadísticas por tema - Construcción. Retrieved from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/construccion>
- Deblaere, F., Demeulemeester, E., & Herroelen, W. (2011). Reactive scheduling in the multi-mode RCPSP. *Computers and Operations Research*, 38(1), 63–74. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2010.01.001>
- Dodin, B., & Elimam, A. A. (2001). Integrated project scheduling and material planning with variable activity duration and rewards. *Iie Transactions*, 33, 1005–1018.
- El-Reedy, M. A. (2016). Project Management in the Oil and Gas Industry. In *John Wiley & Sons*. <https://doi.org/10.1002/9781119084129>

- Fink, A., & Homberger, J. (2015). Handbook on Project Management and Scheduling Vol. 2. In *Handbook on Project Management and Scheduling Vol. 2* (Vol. 1). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-05915-0>
- Frinsdorf, O., Zuo, J., & Xia, B. (2014). Critical Factors for Project Efficiency in a Defence Environment. *International Journal of Project Management*, 32, 0–43.
- Gang, J., Xu, J., & Xu, Y. (2013). Multiproject Resources Allocation Model under Fuzzy Random Environment and Its Application to Industrial Equipment Installation Engineering. *Journal of Applied Mathematics*, 2013.
- GD. (2018). Global Construction Outlook to 2022 - Q4 2018 Update. Retrieved June 22, 2019, from GlobalData website: <https://www.globaldata.com/store/report/gdcn0012go--global-construction-outlook-to-2022-q4-2018-update/#save-report>
- Hartmann, S., & Briskorn, D. (2010). A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 207(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.11.005>
- Hernandez Sampieri Roberto. (2014). Metodología de la investigación. In *Metodologia de la investigacion*. <https://doi.org/-> ISBN 978-92-75-32913-9
- Ikonomou, A., Galletly, J., & Daniel, R. (1998). Solving resource-constrained project scheduling problems using tabu search. In *International Conference on Information Technology for Balanced Automation Systems*, (Springer, Boston), 311–322.
- Kanagasabapathi, & Rajendran, A. (2009). Performance analysis of scheduling rules in resource-constrained multiple projects. *Industrial and Systems Engineering*, 4(5), 502–535.
- Kang, C. M., & Hong, Y. S. (2007). Accelerating the product development process in a multi-project environment. *International Conference on Engineering Desing*, (August), 1–13.
- Kannimuthu, M., Ekambaram, P., Raphael, B., & Kuppuswamy, A. (2018). Resource Unconstrained and Constrained Project Scheduling Problems and Practices in a Multiproject Environment. *Advances in Civil Engineering*, 2018, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2018/9579273>
- Katsavounis, S. (2008). Scheduling multiple concurrent projects using shared resources with allocation costs and technical constraints. *International Conference on Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, 1–6.
- Kimms, A. (2001). Maximizing the Net Present Value of a Project Under Resource Constraints Using a Lagrangian Relaxation Based Heuristic with Tight Upper Bounds. *Annals of Operations Research*, 102, 221–236.
- Kolisch, R., Sprecher, A., & Drexl, A. (1995). Characterization and Generation General Class of Resource Constrained Project of Scheduling Problems. *Management Science*, 41(10), 1693–1703.
- Krüger, D., & Scholl, A. (2009). Discrete Optimization A heuristic solution framework for the resource constrained (multi-) project scheduling problem with sequence-dependent transfer times. *European Journal of Operational Research*, 197(2), 492–508.

<https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.07.036>

- Kurtulus, I., & Davis, E. (1982). Multi-Project Scheduling : Categorization of Heuristic Rules Performance. *Management Science*, 28(2), 161–172.
- Lawrence, S. R., Olin, J. M., & Morton, T. E. (1993). Resource constrained multi-project scheduling with tardy costs : Comparing myopic , bottleneck , and resource pricing heuristics. *European Journal of Operational Research*, 64, 168–187.
- López, E., & Montes, E. (2013). *La economía petrolera en Colombia*.
- Lova, A., & Tormos, P. (2001). Analysis of Scheduling Schemes and Heuristic Rules Performance in Resource-Constrained Multiproject Scheduling. *Annals of Operations Research*, 102(1–4), 263–286. <https://doi.org/10.1023/A:1010966401888>
- Mika, M., Walig, G., & We, J. (2008). Tabu search for multi-mode resource-constrained project scheduling with schedule-dependent setup times. *European Journal of Operational Research*, 187, 1238–1250. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.06.069>
- Mika, M., We, J., & Walig, G. (2005). Simulated annealing and tabu search for multi-mode resource-constrained project scheduling with positive discounted cash flows and different payment models. *European Journal of Operational Research*, 164, 639–668. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.10.053>
- MME, M. de M. y E. (2019). Hidrocarburos. Retrieved from <https://www.minenergia.gov.co/hidrocarburos>
- Möhring, R., Skutella, M., & Stork, F. (2004). Scheduling with and/or precedence constraints. *SIAM Journal on Computing*, 33, 393–415.
- Morillo, D., Moreno, L., & Díaz, J. (2015). Analytic and Heuristic Methodologies for Solving the Resource Constrained Project Scheduling Problem (RCPSP): a review Part 1. *Ingeniería y Ciencia*, 10(19), 247–271. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.10.19.12>
- Nudtasomboon, N., & Randhawa, S. (1997). Resource-constrained project scheduling with renewable and non-renewable resources and time-resource tradeoffs. *Computers & Industrial Engineering*, 32(1), 227–242.
- Pajares, J., & López, A. (2014). New Methodological Approaches to Project Portfolio Management: The Role of Interactions within Projects and Portfolios. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 119, 645–652. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.072>
- Pérez, E., Posada, M., & Lorenzana, A. (2016). Taking advantage of solving the resource constrained multi-project scheduling problems using multi-modal genetic algorithms. *Soft Computing*, 20(5), 1879–1896. <https://doi.org/10.1007/s00500-015-1610-z>
- Phruksaphanrat, B. (2014). Multi-Objective Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem by Preemptive Fuzzy Goal Programming. *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering*, 8(3), 601–605.
- Pinha, D. C., & Ahluwalia, R. S. (2019). Flexible resource management and its effect on project

- cost and duration. *Journal of Industrial Engineering International*, 15(1), 119–133. <https://doi.org/10.1007/s40092-018-0277-3>
- PMI. (2018). Análisis del Sector de Infraestructura.
- Pritsker, A., Lawrence, J., & Wolfe, P. (1969). Multiproject Scheduling with Limited Resources : A Zero-One Programming Approach. *Management Science*, 16(1), 93–108.
- Singh, A. (2014). Resource Constrained Multi-Project Scheduling with Priority Rules & Analytic Hierarchy Process. *Procedia Engineering*, 69, 725–734. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.03.048>
- Sonmez, R., & Uysal, F. (2014). Backward-Forward Hybrid Genetic Algorithm for Resource-Constrained Multiproject Scheduling Problem. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 29(5), 04014072. [https://doi.org/10.1061/\(asce\)cp.1943-5487.0000382](https://doi.org/10.1061/(asce)cp.1943-5487.0000382)
- Trujillo, C., Gomez, A., & Fajardo, E. (2018). *Desarrollo de una guía metodológica para dirigir proyectos por medio de lineamientos del PMI en el sector construcción*. Retrieved from <https://repositorio.escuelaing.edu.co/handle/001/808>
- Vanhoucke, M. (2018). Planning projects with scarce resources: Yesterday, today and tomorrow's research challenge. *Frontiers of Engineering Management*, 5(2), 133–149. <https://doi.org/10.15302/J-FEM-2018088>
- Vanhoucke, M., & Coelho, J. (2018). A tool to test and validate algorithms for the resource-constrained project scheduling problem. *Computers and Industrial Engineering*, 118, 251–265. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.02.001>
- Vanhoucke, M., Demeulemeester, E., Herroelen, W., Vanhoucke, M., Demeulemeester, E., & Herroelen, W. (2016). *On Maximizing the Net Present Value of a Project Under Renewable Resource Constraints*. 47(8), 1113–1121.
- Vázquez, E. P., Calvo, M. P., & Ordóñez, P. M. (2013). Learning process on priority rules to solve the RCMPSP. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 26(1), 123–138. <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0767-5>
- Villafañez, F., Poza, D., López, A., Pajares, J., & Olmo, R. (2018). A generic heuristic for multi-project scheduling problems with global and local resource constraints (RCMPSP). *Soft Computing*, 1–15. <https://doi.org/10.1007/s00500-017-3003-y>
- Wang, Y., He, Z., Kerkhove, L. P., & Vanhoucke, M. (2017). On the performance of priority rules for the stochastic resource constrained multi-project scheduling problem. *Computers and Industrial Engineering*, 114, 223–234. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.10.021>
- Wei-xin, W., Xu, W., Xian-long, G., & Lei, D. (2014). Advances in Engineering Software Multi-objective optimization model for multi-project scheduling on critical chain. *Advances in Engineering Software*, 68, 33–39. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2013.11.004>
- Xu, J., & Feng, C. (2014). Multimode Resource-Constrained Multiple Project Scheduling Problem under Fuzzy Random Environment and Its Application to a Large Scale Hydropower Construction Project. *The Scientific World Journal*, 2014.

- Yaghootkar, K., & Gil, N. (2011). The effects of schedule-driven project management in multi-project environments. *International Journal of Project Management*. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.02.005>
- Yang, S., & Fu, L. (2014). ScienceDirect Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R & D process. *International Journal of Project Management*, 32(1), 166–177. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2013.01.010>
- Yassine, A. a., & Browning, T. R. (2010). Resource-constrained multi-project scheduling: Priority rule performance revisited. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 212–228. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.03.009>
- Yassine, A., Mostafa, O., & Browning, T. (2017). Scheduling multiple, resource-constrained, iterative, product development projects with genetic algorithms. *Computers and Industrial Engineering*, 107, 39–56. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.03.001>
- Zhang, D., Chen, J., & Zhu, J. (2014). Multi-project Scheduling Problem with Human Resources Based on Dynamic Programming and Staff Time Coefficient. *International Conference on Management Science & Engineering 21th Annual Conference Proceedings*, (70702026), 1012–1018.
- Zhang, Z., & Chen, M. (2018). A bi-level multi-agent system model for decentralized multi-project scheduling of wind power plants. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 10(3). <https://doi.org/10.1063/1.5021839>

