

Sustentación Final - Trabajo de Grado

Equipo

Eco. Carlos Andrés Hernández Fontecha
Eco. Cristian Arias García

Director

Ing. Johanna Trujillo Díaz



Maestría en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos

Julio 2019



***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***



CONTENIDO

- 1. Planteamiento del Problema**
- 2. Justificación**
- 3. Objetivos**
- 4. Propósito**
- 5. Contexto Sectorial**
- 6. Marco Teórico**
- 7. Metodología**
- 8. Resultados**
- 9. Conclusiones**
- 10. Gerencia del Trabajo de Grado**

2

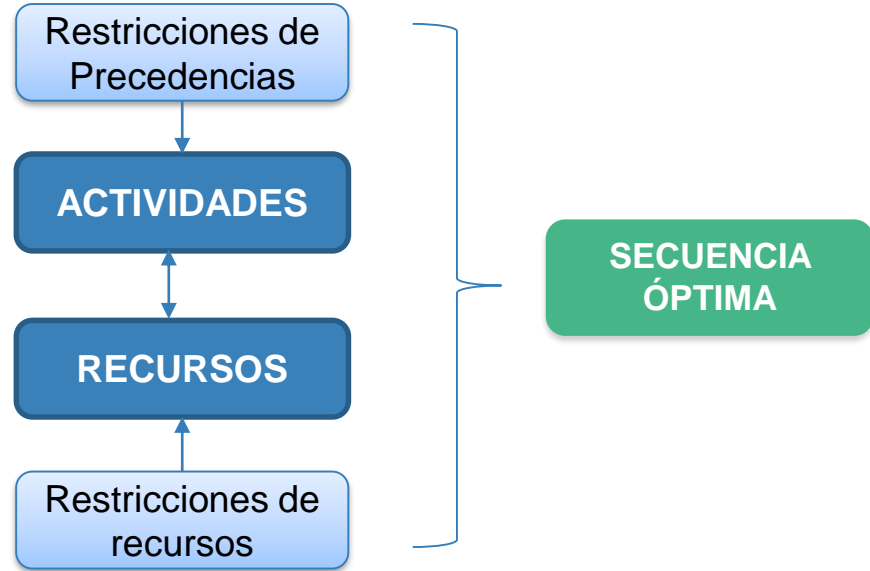
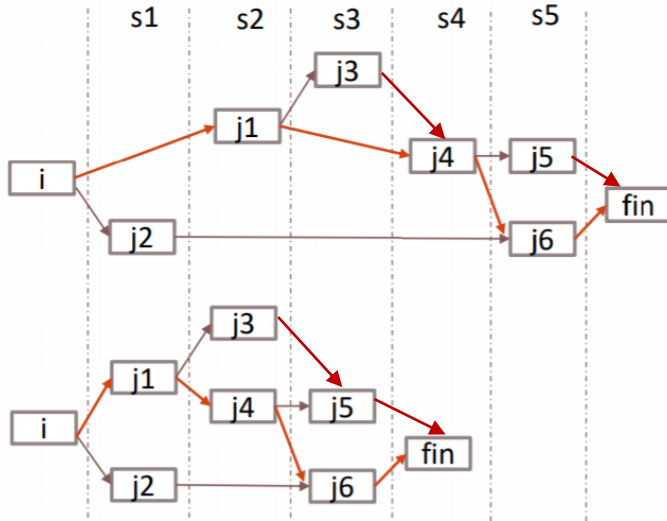
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



PROBLEMA

Características RCMPSP

PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS



“Resource Constrained Multi Project Scheduling Problem”



PROBLEMA

El 84% de las empresas trabajan en ambientes multiproyectos con recursos limitados compartidos.

Lova et al. (2000)

Conflicto por la asignación de recursos restringidos entre proyectos

Morillo et al. (2014)

Brecha entre la teoría y las necesidades prácticas de las compañías en la programación de proyectos

Vanhoucke (2018)

La capacidad de gestionar y programar múltiples proyectos es una ventaja competitiva

Araszkievicz (2017)

El problema RCMPSP se presenta en diferentes sectores productivos, como la industria de la construcción, los hidrocarburos, la logística corporativa y la industria manufacturera

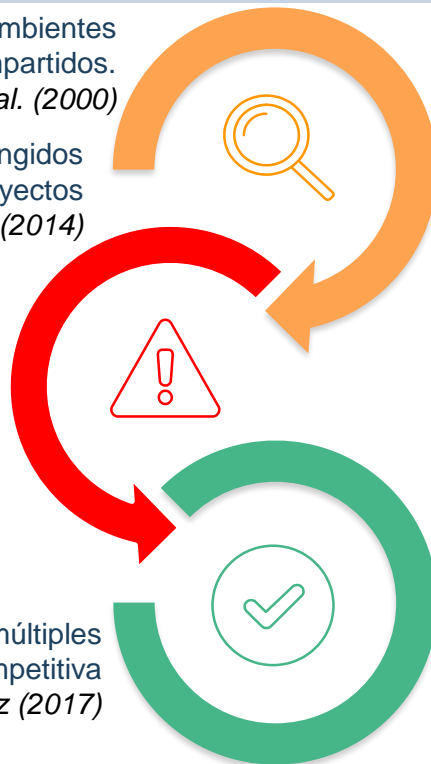
Katsavounis (2008)

Impacto significativo en el tiempo y los costos en las organizaciones

Sonmez & Uysal (2014)

Solucionar el problema RCMPSP podría generar beneficios económicos y aportar a la gestión de proyectos de las compañías

Deblaere, Demeulemeester, & Herroelen (2011)






PROBLEMA

Investigación internacional enfocada en el desarrollo de modelos teóricos y computacionales pero alejada de la aplicación práctica

Araújo et al. (2010)
Pinha et al. (2019)

Limitada investigación de programación de multiproyectos en el contexto sectorial colombiano



**BRECHA ENTRE LA
TEORÍA Y LA
REALIDAD EN LA
PROGRAMACIÓN DE
PROYECTOS**
Vanhoucke (2018)

Existencia del problema de programación de proyectos con recursos restringidos en las empresas

Lova et al. (2000)
Katsavounis (2008)



PROBLEMA

El problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos impacta significativamente el cronograma y los costos de las organizaciones
(Sonmez & Uysal, 2014)

Modelos y herramientas complejos poco aplicables a la realidad para obtener soluciones óptimas al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos
(Pinha et al., 2019)

Planificación de los multiproyectos mediante una programación óptima, se convierte en una tarea compleja para las organizaciones
(Lova & Tormos, 2001)

Brechas significativas entre la teoría y las necesidades prácticas de las empresas
(Pinha et al., 2019; Vanhoucke, 2018)

Métodos tradicionales para la programación de proyectos (PERT/CPM) no satisfacen la complejidad de multiproyectos realizados por las organizaciones
(Villafañez et al., 2018)

Modelos de programación de proyectos con supuestos lejanos a la realidad organizacional
(Araújo et al., 2010)

Métodos de solución al problema RCMPSP basados en simulaciones con datos artificiales (no reales) de cronogramas de multiproyectos
(Vanhoucke et al., 2018)

Softwares comerciales usados no admiten multiproyectos
(Kolisch et al., 1995)

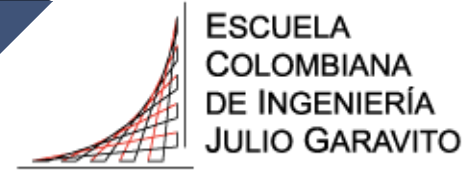
3

JUSTIFICACIÓN



JUSTIFICACIÓN

Fase 1 & Fase 2



- *Software* denominado ECI-RCMPSP para programar multiproyectos
- Análisis de 18 reglas de prioridad

FASE 1 *Aristizábal et al. (2017)*

FASE 2 *Amaya et al. (2018)*

- Combinación de reglas de prioridad en datos artificiales para la simulación de proyectos.
- Ranking de las mejores combinaciones.



- Retos, oportunidades y ajustes para la aplicación en los sectores de construcción e hidrocarburos en Colombia

FASE 3



Determinar la potencial aplicación del *Software* ECI-RCMPSP para la solución de programación de multiproyectos con recursos restringidos en contextos reales

Generar conocimiento para la programación de proyectos en los sectores de construcción e hidrocarburos en Colombia.

Aprovechar el *Software* ECI-RCMPSP y el análisis de las investigaciones previas realizadas en la Fase I (Aristizábal et al, 2017) y Fase II (Amaya et al, 2018).

Contrastar y acotar la brecha entre la teoría de la programación de proyectos y la realidad de las organizaciones de los sectores de construcción e hidrocarburos

4

OBJETIVOS

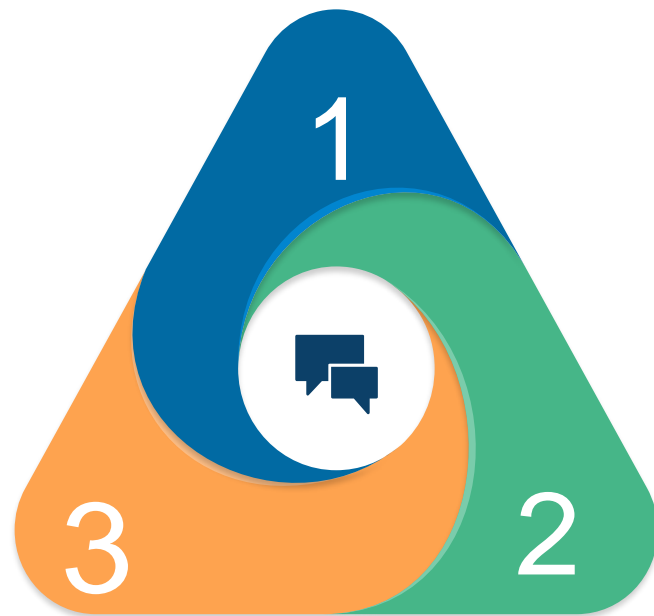


Analizar la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP en las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá

1 Determinar las variables en 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**

2 Establecer los retos y oportunidades para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP en grandes empresas de los sectores de construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá mediante el **cálculo del índice de importancia relativa** de las variables determinadas

3 Proponer los ajustes necesarios al *software* ECI-RCMPSP para su potencial aplicación para encontrar soluciones al problema RCMPSP en el entorno multiproyectos de los sectores de construcción y los hidrocarburos de las grandes empresas en Bogotá



4

PROPÓSITO



PROPÓSITO

Contribuir a **mejorar la efectividad de la toma de decisiones en la gerencia y programación de portafolios, programas y proyectos** en los **sectores de la construcción y los hidrocarburos en Colombia**, y a la generación de conocimiento para el grupo de investigación en gerencia de proyectos. Mediante el **análisis de la potencial aplicación del *Software* ECI-RCMPSP** para encontrar soluciones óptimas al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos en **contextos reales**



PROPÓSITO

Aporte de la Investigación

Requerimientos para el ajuste de las funcionalidades del *software* y evaluar una posible fase comercial.

Identificación de las variables para la programación de múltiples proyectos en grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos.

03

02

01

04

Instrumento de medición estandarizado y aplicable a organizaciones de otros sectores de la economía que presenten el problema RCMPSP

Retos y oportunidades del *software* desarrollado por la ECI para la solución al problema RCMPSP de las empresas

5

CONTEXTO SECTORIAL



CONSTRUCCIÓN

Edificaciones y Obras Civiles



Aporte al PIB entre 2005-2018 del
6.7%



Emplea el **6.2%** de la mano de obra de Colombia. En el 2018 el número de personas empleadas es **1.4 millones**



Aporta anualmente cerca de **47** billones de pesos a la economía colombiana

Camacol (2018) & DANE (2018)

Factores que Influyen en los Proyectos de Construcción

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.

Factores Internos: Procesos de estructuración, priorización y selección de proyectos a nivel de gerencia

Factores externos: 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 et al., 2018)



HIDROCARBUROS

Exploración y Producción de Petróleo y Gas Natural



Aporte al PIB entre 2005-2018 de **3.8%**



Ingresos petroleros aportaron el **21%** de los ingresos corrientes en Colombia entre 2005-2018



Inversión extranjera directa en proyectos del sector tuvo participación del **30%** para el periodo 2005-2017.

ACP (2018) & DANE (2018)

Factores que Influyen en los Proyectos de Hidrocarburos

En los proyectos del sector de hidrocarburos existen factores que generan alta incertidumbre y que afectan la programación de los proyectos, como:

Fluctuaciones cambiarias, por la financiación 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).

Aspectos legislativos, políticos, ambientales y fundamentalmente operativos, debido a que los procesos de la etapa de la cadena productiva de exploración involucran incertidumbre e implican altas inversiones, de capital de riesgo, que debe gestionarse a través del empleo óptimo de los recursos

(López & Montes, 2013).

6

MARCO TEÓRICO

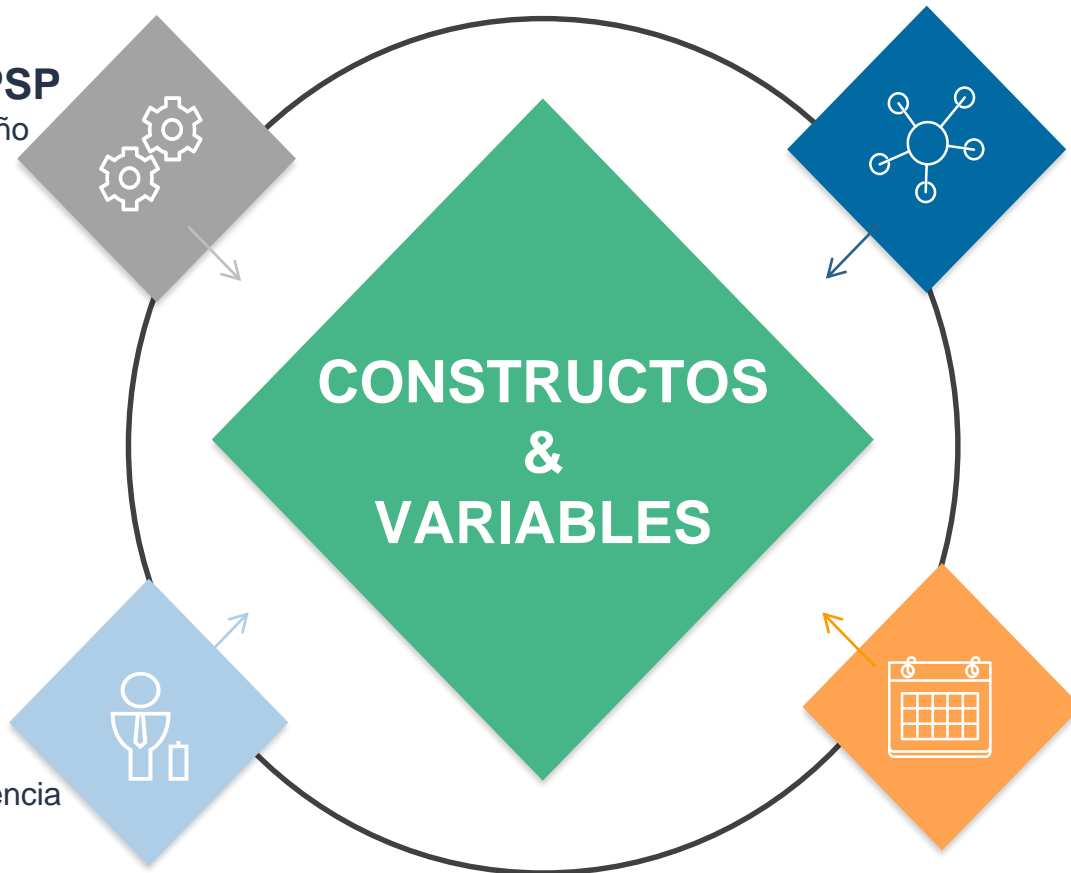


MODELO RCMPSP

- › Medida de Desempeño
- › Regla de Prioridad

RECURSOS

- › Tipo de Asignación
- › Recursos Globales
- › Tipo de Recursos
- › Tiempo de Transferencia

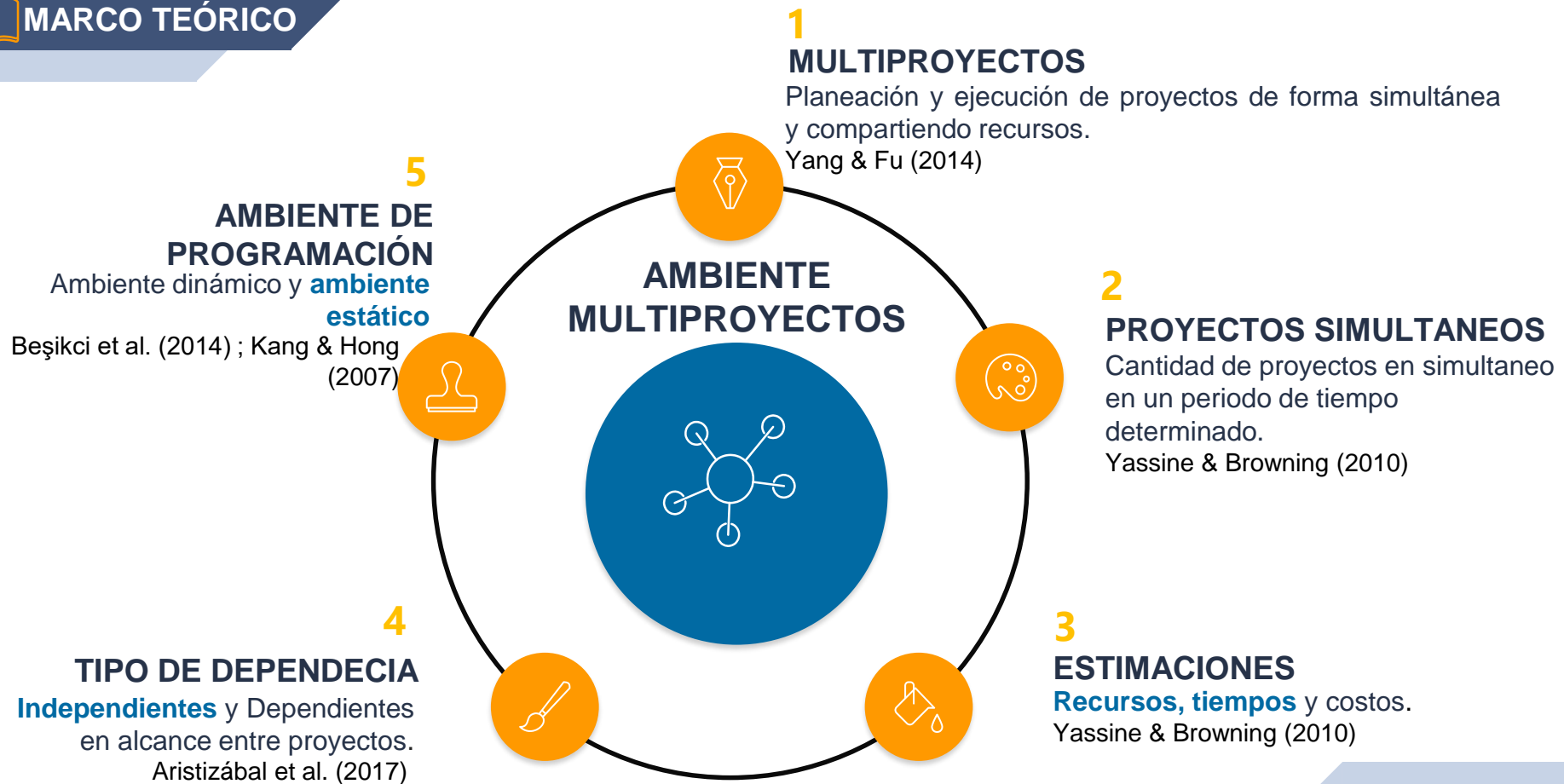


AMBIENTE MULTIPROYECTOS

- › Multiproyectos
- › Proyectos Simultáneos
- › Estimaciones
- › Tipo de Dependencia
- › Ambiente de Programación

ACTIVIDADES

- › Programación
- › Técnica de Programación
- › Duración
- › Relación de Precedencia
- › Ruta Crítica



5 RUTA CRÍTICA

Secuencia de actividades que tardaran más tiempo en completarse en los proyectos.

Amaya et al. (2018); Confessore et al. (2007); Kurtulus & Davis (1982); Villafañez et al. (2018); Yassine (2017)

4 RELACIÓN DE PRECEDENCIA

Relación lógica de dependencias entre actividades (**FC**; FF; CC; CF)

Morillo et al.(2015); Vanhoucke (2018); Vanhoucke & Coelho (2018)



1 PROGRAMACIÓN

Secuencia de actividades con una asignación de recursos y tiempos para terminación de los proyectos
Chaparro & Castañeda (2015)

2 TÉCNICA DE PROGRAMACIÓN

Técnicas tradicionales (PERT/CPM/GANTT).

RCMPSP es un problema *NP-hard*, y por tanto se han desarrollado diferentes métodos de solución (exactos, **heurísticos**)

Chen et al. (2018), Fink & Homberger (2015)
Kimms (2001), Pérez et al. (2016), Vanhoucke (2018)

3 DURACIÓN

Determinista y estocástica

Afruzi et al. (2018);
Browning & Yassine (2010); Wang et al. (2017)

4 TIEMPO DE TRANSFERENCIA

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)

3 TIPO DE RECURSOS Renovables y no renovables.

Hartmann & Briskorn (2010); Kolisch et al. (1995).



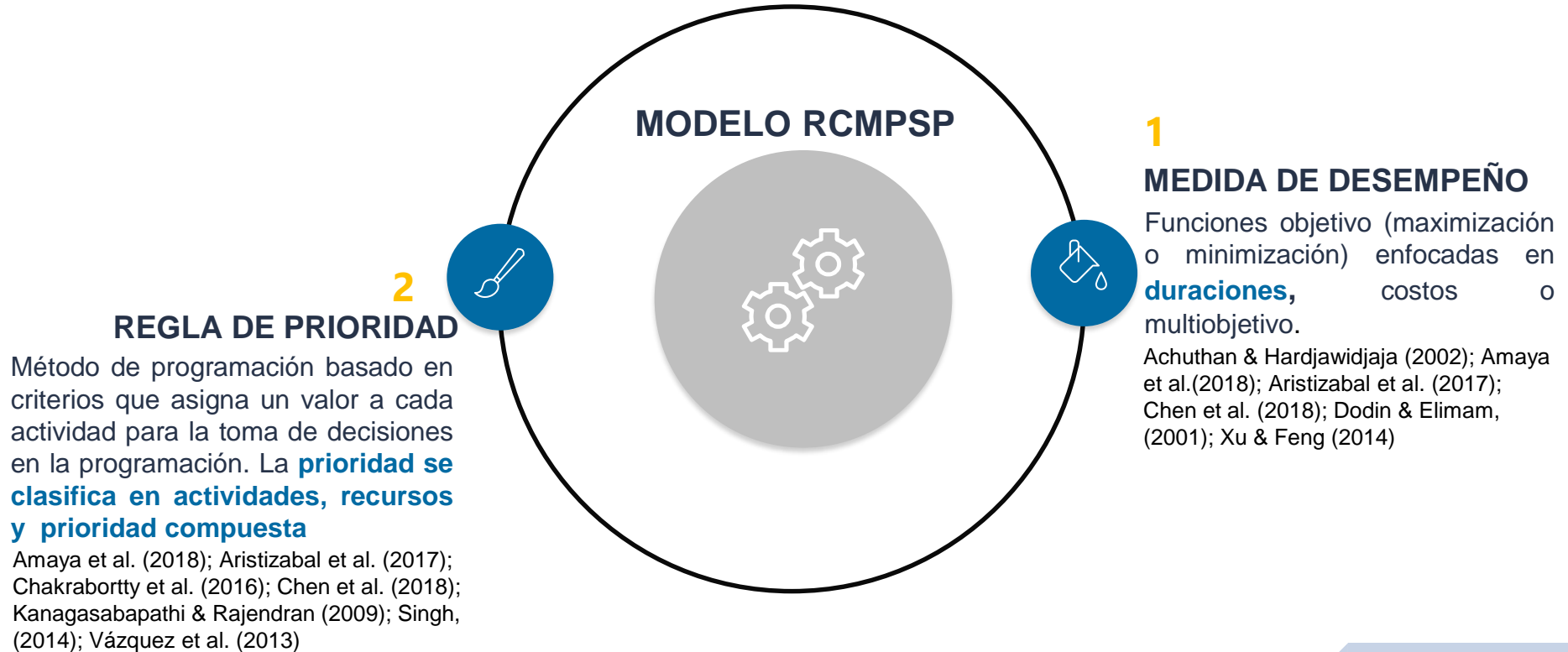
1 TIPO DE ASIGNACIÓN

Centralizada, descentralizada y mixta.

Adhau et al. (2012); Araúzo et al. (2010); Pajares & López, (2014); Pritsker et al. (1969); Zhang & Chen (2018)

2 DISPONIBILIDAD RECURSOS Recursos Globales y Recursos Locales

Lova & Tormos (2001); Villafáñez et al. (2018)





INVESTIGACIONES CON INSTRUMENTO DE MEDICIÓN

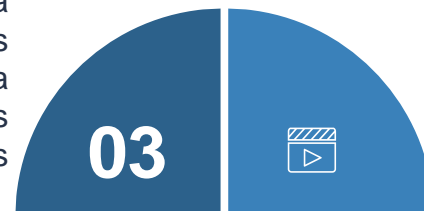
Kannimuthu et al. (2018)



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.

Identificar 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 multiproyectos.

Yaghootkar & Gil (2011)



Estudio de la presión que ejerce programación en un ambiente multiproyectos.

02



Frinsdorf, et al. (2014)

7

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN



METODOLOGÍA

Enfoque Metodológico



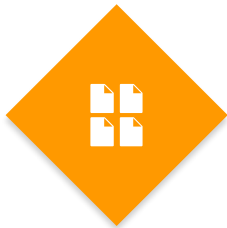
OBJETIVO 1

Determinar las variables para la programación de multiproyectos en grandes empresas de los sectores de construcción y los hidrocarburos de la ciudad de Bogotá



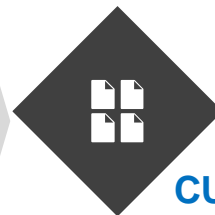
OBJETIVO 2

Establecer los retos y oportunidades para la aplicación del *software* ECI-RCMPSP mediante el cálculo del índice de importancia relativa



OBJETIVO 3

Proponer los ajustes necesarios al *software* ECI-RCMPSP para su potencial aplicación



MIXTA SECUENCIAL

CUANTITATIVA + CUALITATIVA



METODOLOGÍA

Pasos Metodológicos

Paso 1.

Identificación de las variables a partir de la revisión de la literatura



Paso 3.

Validación del instrumento de medición con juicio de expertos.



Paso 6.

Codificación del instrumento de medición



Paso 2

Diseño del instrumento de medición estandarizado con las variables a ser determinadas en el contexto de las grandes empresas de los sectores de la construcción y los hidrocarburos de Bogotá



Paso 4-5.

- › Identificar la muestra
- › Aplicar el instrumento de medición a la muestra probabilística estratificada



Paso 7.

Análisis de Resultados Estadística Descriptiva y Compuesta



METODOLOGÍA

Análisis Estadística Descriptiva



Confiabilidad del Instrumento



Diseño y aplicación Instrumento de Medición



Revisión de Literatura



OBJETIVO

1

Entregables

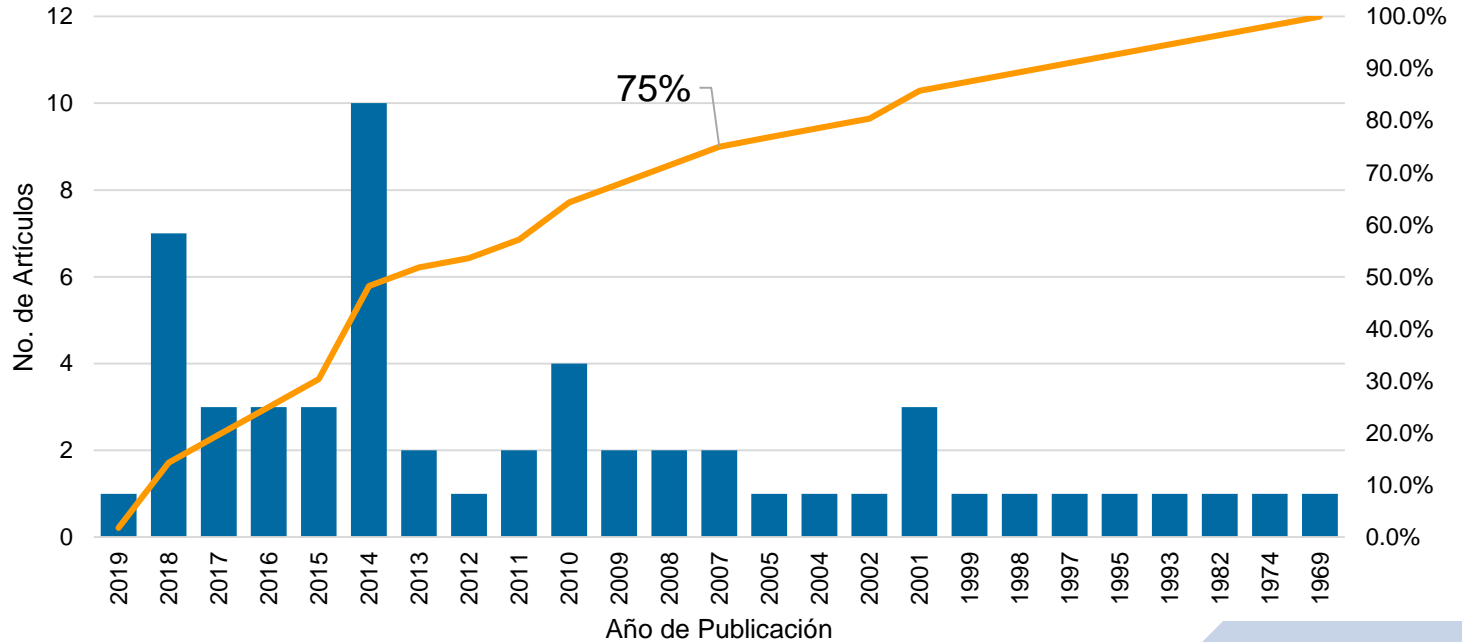
- › Variables identificadas en la literatura
- › Instrumento de medición estandarizado, validado y confiable
- › Variables determinadas en el contexto sectorial





METODOLOGÍA

Revisión de Literatura





METODOLOGÍA

Diseño del Instrumento

VALIDEZ

Validez de contenido , validez de criterio: **método de validez de expertos.**
Validez de constructo: **Selección de acuerdo con la literatura.**
Correlación entre las variables de medida y las de la teoría



CONFIABILIDAD

Instrumento estandarizado
Prueba no paramétrica KR20

OBJETIVIDAD

Instrumento estandarizado:
Desarrollo y aplicación estandarizado

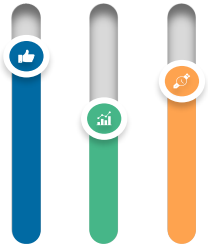




METODOLOGÍA

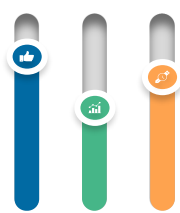
Muestreo Probabilístico Aleatorio

485



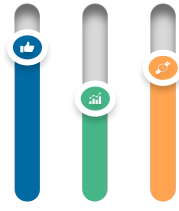
Población Empresas

395



Construcción

90



Hidrocarburos

Filtros para la Población Objetivo

1. **Ubicación:** Empresas registradas en la CCB y ubicadas en Bogotá D.C.
2. **Actividad económica registrada bajo los códigos CIU :** explotación de minas y canteras, gas, construcción.
3. **Tamaño de la empresa:** Grandes empresas.
4. **Matrícula mercantil:** Renovada en el año 2018.

Muestra Estadísticamente Representativa





METODOLOGÍA

Codificación, Confiabilidad y Estadística Descriptiva



16
Variables



40
Categorías

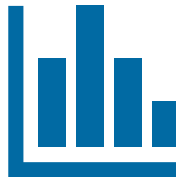
Codificación tipo binaria, donde el valor 1 presencia de la variable y/o categoría identificada, 0 ausencia.



Prueba de Confiabilidad KR20

$$KR_{20} = \frac{n}{n - 1} \left(1 - \frac{\sum p_i q_i}{\sigma^2} \right)$$

- n = número de ítems/categorías
- p = proporción de empresas que respondieron afirmativo al ítem/categoría
- q = 1- p
- σ^2 = varianza del puntaje total
- **0 = nula confiabilidad**
- **1 = confiabilidad total**



Estadística Descriptiva

Gráficos de frecuencia y porcentajes de participación. Datos segmentados para cada sector.



METODOLOGÍA

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.
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, 60 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.



METODOLOGÍA





Aplicación Instrumento



SurveyMonkey



1

Análisis Compuesto

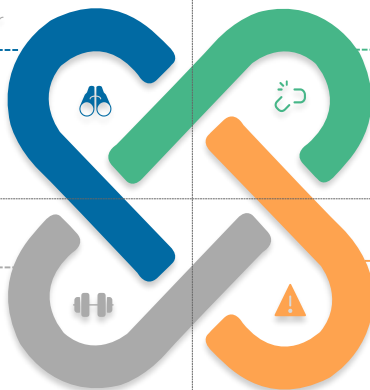
Índice de Importancia Relativa (RII) = $\frac{\sum W}{A * N}$

RII \geq 0.5 mayor importancia

RII < 0.5 menor importancia

Software ECI-RCMPSP (Condición, Input, Supuesto)

	SI	NO
Alta Importancia RII \geq 0,5	<p>Oportunidades</p> <p>La variable es importante para la muestra estudiada y el <i>software</i> lo tiene en cuenta para su funcionamiento</p>	<p>Reto/Necesidad</p> <p>La variable es importante para la muestra estudiada y el <i>software</i> NO lo tiene en cuenta para su funcionamiento</p>
Baja Importancia RII < 0,5	<p>Fortalezas</p> <p>La variable es de baja importancia para la muestra estudiada y el <i>software</i> lo tiene en cuenta para su funcionamiento</p>	<p>Amenaza/Riesgo</p> <p>La variable es de baja importancia para la muestra estudiada y el <i>software</i> NO lo tiene en cuenta para su funcionamiento</p>



Matriz Importancia/Aplicabilidad



METODOLOGÍA

Entregables

- › Relación entre pares de variables establecida
- › Diferencia entre sectores establecida
- › Ajustes al *software* ECI-RCMPSP propuestos

OBJETIVO

3

Proponer
ajustes al
Software ECI-
RCMPSP



Prueba Kruskal-
Wallis (K-W)



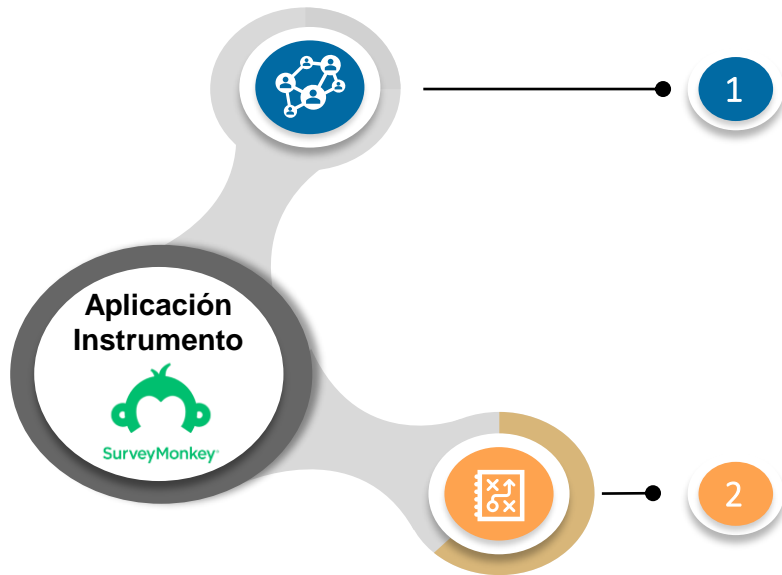
Coefficiente de
Sperman





METODOLOGÍA

Estadística Compuesta: Pruebas No Paramétricas



1

Coefficiente de Correlación de Spearman

Este coeficiente puede variar entre -1 y 1

- 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)

Hipótesis nula (H_0): no existe asociación entre las dos variables determinadas para la potencial aplicación del *software* ECI-RCMPSP

- Coeficiente de correlación estadísticamente significativo ($p\text{-value} \leq 0,05$)

2

Prueba de Kruskal-Wallis (K-W)

Hipótesis nula (H_0): 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

- El compartimiento de una la variable determinada es diferente dependiendo del sector ($p\text{-value} \leq 0,05$).

8

RESULTADOS



RESULTADOS

Objetivo 1- Confiabilidad

KR20 = 0.64

Un índice de 0.60 es aceptable (Hernández Sampieri, 2014).

El instrumento de medición diseñado cumple con el requerimiento de ser confiable para medir las variables identificadas en la literatura y asociadas al *software* ECI-RCMPSP.

La confiabilidad permite que el instrumento al ser estandarizado **pueda ser replicado a otros contextos sectoriales.**

Confiabilidad

0.64

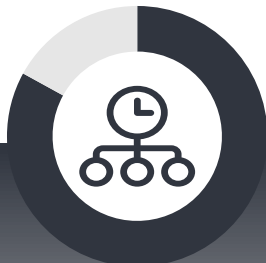




RESULTADOS

Objetivo 1 – Información General

CARGO



Ejercen o tienen un rol en el área de el área de proyectos. 17% otras especialidades.
82%C-85%H

83%

AÑOS DE EXPERIENCIA

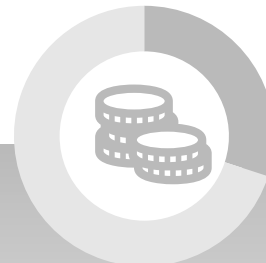


Construcción: 80.39% se encuentran entre 1 y 10 años.
Hidrocarburos: 73.33% se encuentran entre 4 y 10 años

9

Años Promedio

CANTIDAD DE PROYECTOS 2018



72.73% ejecutaron 2 o más proyectos en el año 2018. Existe la posibilidad de una situación de multiproyectos (Yang & Fu, 2014)

5

Proyectos Promedio



66

Grandes Empresas



51

Construcción



15

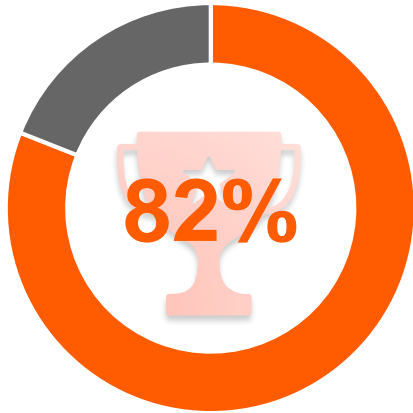
Hidrocarburos



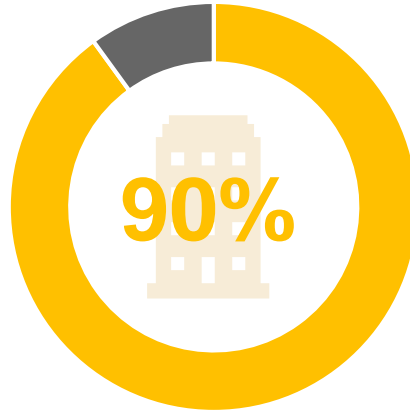
RESULTADOS

Objetivo 1 – Ambiente Multiproyectos

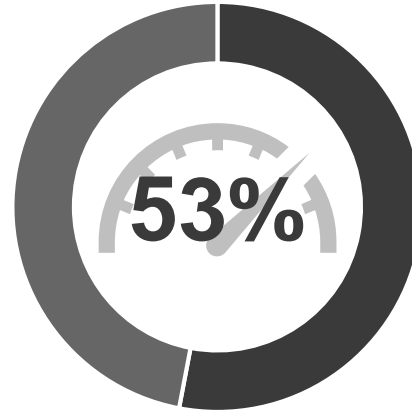
EJECUCIÓN DE PROYECTOS EN SIMULTÁNEO




TOTAL



CONSTRUCCIÓN



HIDROCARBUROS

 **4 Proyectos**
Simultáneos

En construcción el **92.2%** de las organizaciones ejecutan más de 2 proyectos en simultaneo y en hidrocarburos el **53.3%**.

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). Reafirmando los resultado de Lova & Tormos (2001) que indican que el 84% de las empresas trabajan con proyectos múltiples y simultáneos

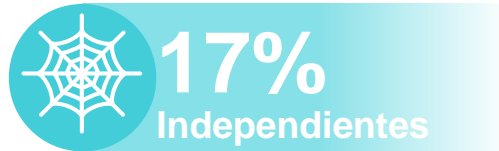


RESULTADOS

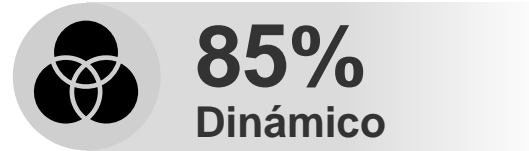
Objetivo 1 – Ambiente Multiproyectos



Yassine & Browning (2010)



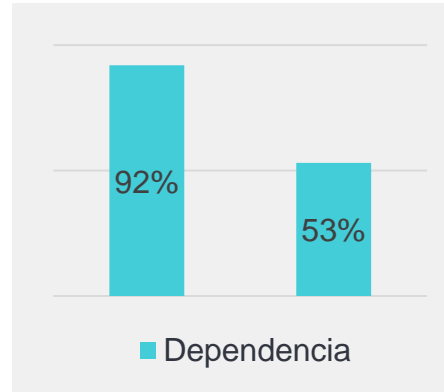
Aristizabal et al. (2017).



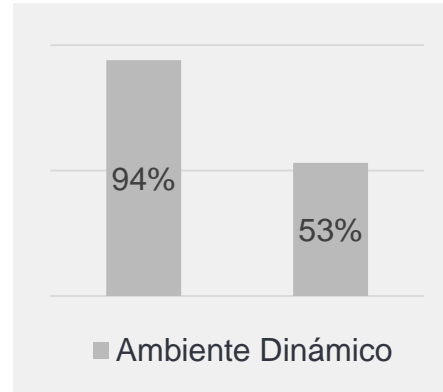
Kang & Hong (2007)



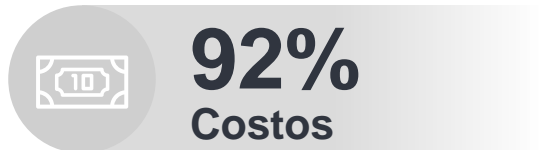
Trujillo et al (2018)



Construcción / Hidrocarburos



Construcción / Hidrocarburos




Restricción del *Software*



RESULTADOS


Objetivo 1 – Actividades

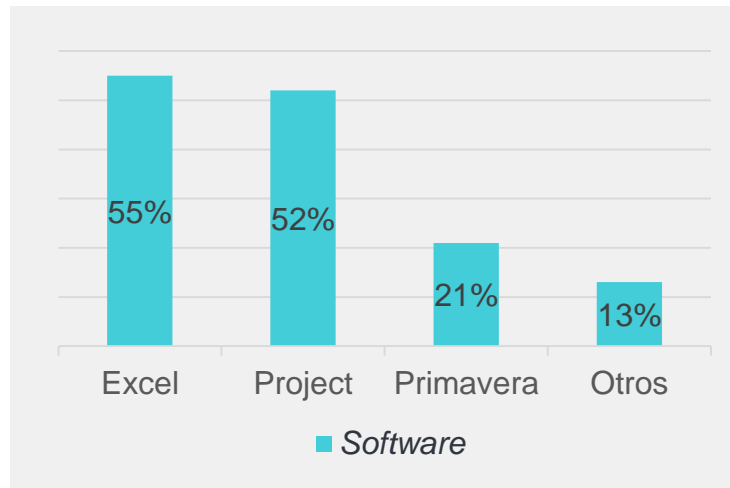
Villafáñez, Poza, López, Pajares, & Olmo (2018) indican que los métodos tradicionales para la programación de proyectos no responden satisfactoriamente a la complejidad de portafolios actuales realizados por las organizaciones.

 **76%**
D. GANTT


 **35%**
PERT

 **21%**
Hitos

 **11%**
CPM



Construcción/ Hidrocarburos

 **100%**
Cronogramas

Secuencias/ Restricciones
Chaparro & Castañeda (2015)

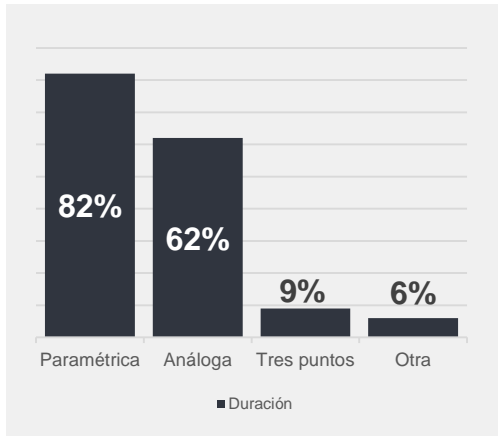


RESULTADOS

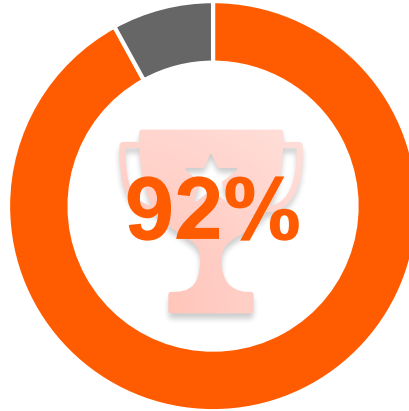
Objetivo 1 – Actividades



Estimaciones de Duración



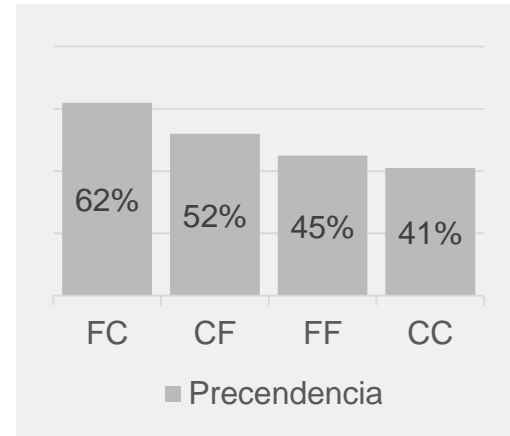
Las estimaciones de duración en el *Software* ECI-RCMPSP son de tipo determinística.



Ruta Crítica



Relaciones de Precedencia

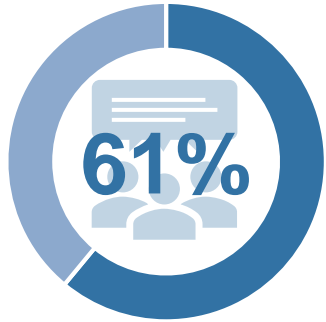


El modelo básico RCMPSP tiene el supuesto de relaciones de precedencia tipo fin-comienzo.

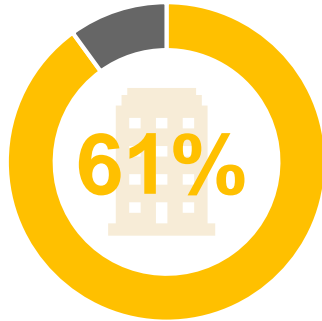


RESULTADOS

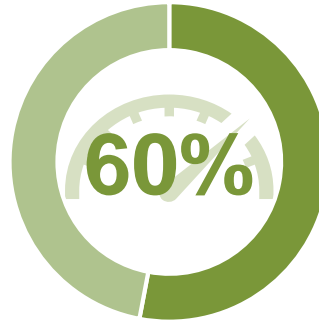
Objetivo 1 – Recursos



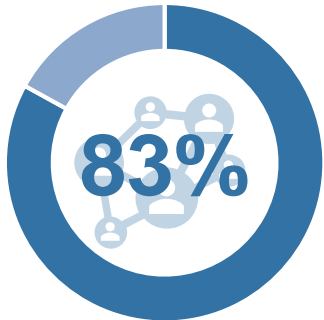
TOTAL



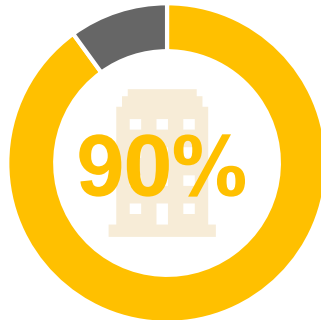
CONSTRUCCIÓN



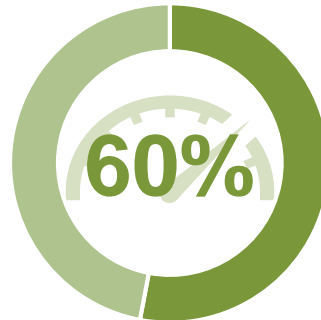
HIDROCARBUROS



83%



90%



60%



Decisión de asignación de recursos de **tipo centralizada** obedece la consecución de objetivos globales (Amaya et al., 2018)



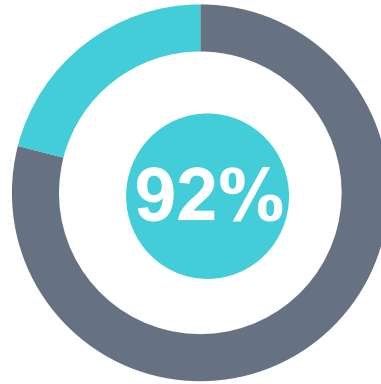
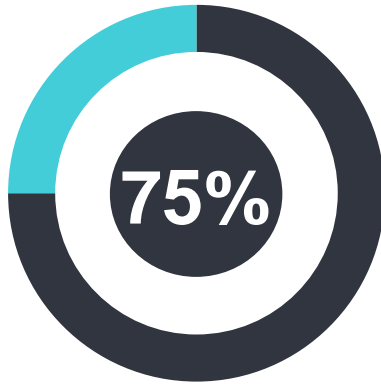
Las organizaciones disponen de **recursos globales**, es decir, que son compartidos entre los diferentes proyectos de acuerdo con su capacidad disponible (Villafáñez et al., 2018)



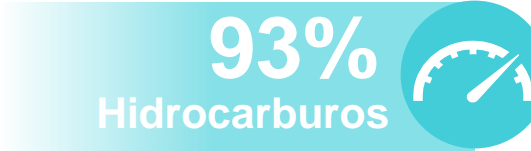
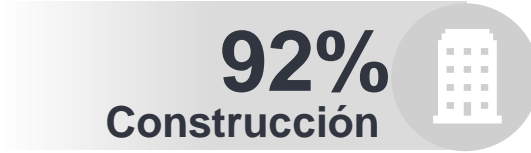
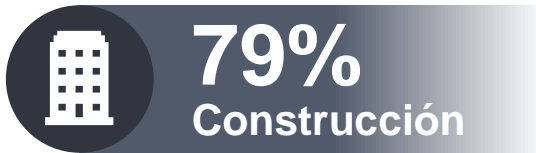
RESULTADOS

Objetivo 1 – Recursos

Recursos Renovables
(Hartmann & Briskorn 2010)



Tiempos de Transferencia
(Amaya et al., 2018;
Sonmez & Uysal, 2014).

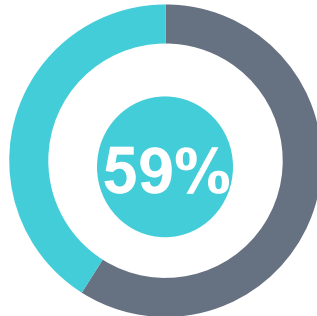
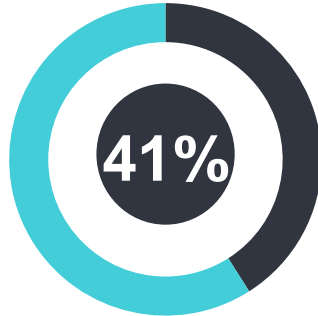
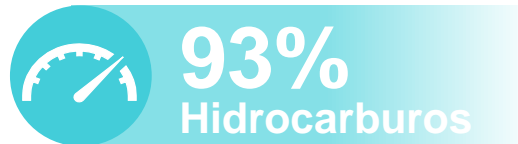
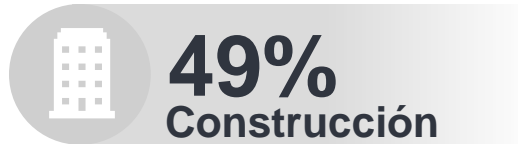




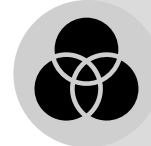
RESULTADOS

Objetivo 1 – Modelo RCMPSP

Objetivo de Programación



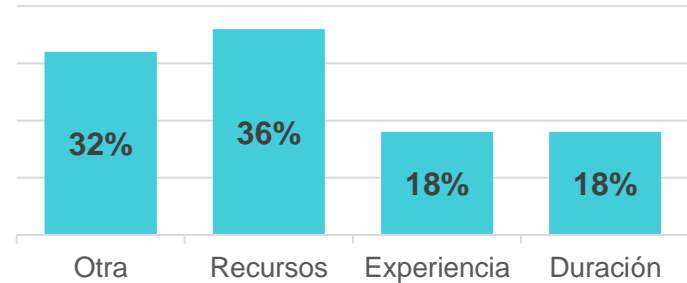
Regla de Prioridad



32%

Duración/Recursos/Experiencia

Kolisch et al. (1995)





RESULTADOS

Objetivo 2 – Construcción (RII, Matriz)

Oportunidades

- RII=1.0** Uso de cronogramas
- RII=0.98** Estimaciones de tiempo y asignación recursos por actividad
- RII=0.90** Duraciones paramétricas, recursos globales, estimaciones de recursos, ruta crítica, ejecución multiproyectos
- RII =0.84** Método de optimización
- 0.79 < RII > 0.61** Recursos renovables, duraciones análogas, relaciones FC, MS Project, Excel, asignación Centralizada

Fortalezas

- RII=0.49** Objetivo minimizar tiempo
- RII=0.35** Combinación de reglas de prioridad
- 0.27 < RII > 0.18** Priorización por recursos, experiencia y duración
- RII=0.14** Técnica de programación CPM



Reto/Necesidad

- RII=0.94** Estimaciones de costos y ambiente dinámico
- RII=0.92** Tiempo de transferencia y proyectos dependientes
- RII=0.80** Diagrama de Gantt
- RII=0.53** Precedencia CF
- RII=0.51** Objetivo minimizar costos

Amenaza/Riesgo

- RII=0.45** Relaciones de precedencia FF y CC
- RII=0.39** Asignación centralizada y descentralizada
- RII=0.35** Técnica de programación PERT
- RII=0.24** Técnica de programación Hitos
- RII=0.21** Recursos no renovables
- RII=0.18** *Software Primavera*



RESULTADOS

Objetivo 2 – Hidrocarburos (RII, Matriz)

Oportunidades

RII=1.0 Uso de cronogramas, asignación recursos por actividad e identificación de la ruta crítica

RII=0.93 Objetivo minimizar tiempo y estimación de recursos

RII=0.80 Estimaciones de tiempo

RII=0.60 Recursos renovables, asignación centralizada, recursos globales

RII =0.53 Duraciones paramétricas y ejecución de multiproyectos

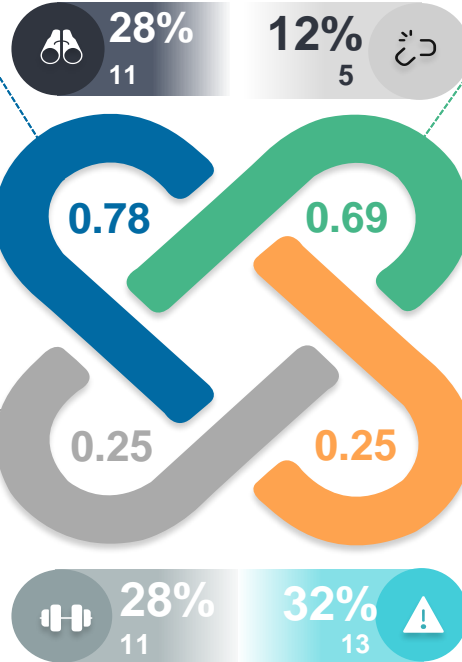
Fortalezas

RII=0.47 Precedencias FC

RII=0.40 Método de optimización y duraciones análogas

RII=0.33 *Software* de programación Excel

RII=0.20 Priorización por recursos, duración, y combinaciones, *Software* de programación MS Project



Reto/Necesidad

RII=0.93 Tiempo de transferencia

RII=0.87 Estimaciones de costos

RII=0.60 Diagrama de Gantt

RII=0.53 Ambiente dinámico y proyectos dependientes

Amenaza/Riesgo

RII=0.47 Relaciones de precedencia CF y FF

RII=0.40 Asignación centralizada y descentralizada, recursos no renovables

RII=0.33 Técnica de programación PERT y *software* Primavera

RII=0.27 Relaciones de precedencia CC

RII=0.20 Duraciones por tres puntos



RESULTADOS

Objetivo 3 – Coeficiente de Sperman

A Funciones Objetivo

0.71
Estimación de Recursos/
Estimación de Costos

0.39
Excel / Minimizar
Costos

0.27
Ambiente Dinámico /
Minimizar Costos

0.25
Recursos Renovables /
Minimizar Costos



B Ambiente Dinámico y Dependencia de Proyectos

0.74
Multiproyectos /
Proyectos Dependientes

0.57
Multiproyectos / Ambiente
Dinámico

0.49
Proyectos Dependientes /
Ambiente Dinámico

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%.



RESULTADOS

Objetivo 3 – Coeficiente de Sperman

C Asignación Mixta y Duraciones Estocásticas

0.43
PERT / CC

0.26
Multiproyectos / PERT

0.25
Ambiente Dinámico /
Centralizada y Descentralizada



D Relaciones de Precedencia

0.60
FF / CC

0.31
CC / CF

0.28
FF / CF

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%.



RESULTADOS

Objetivo 3 – Prueba Kruskal Wallis



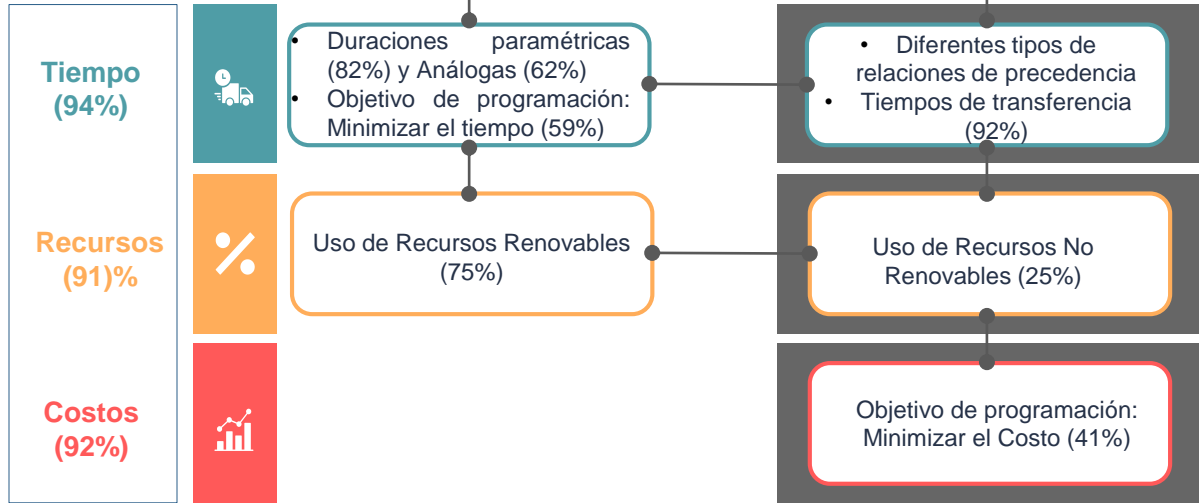
Variable	RII	Valor H	p<0,05	RII Construcción	RII Hidrocarburos	Configuración
Ambiente Dinámico	0.85	5.70	0.02	0.94	0.53	Reto
Proyectos Dependientes	0.83	5.16	0.02	0.92	0.53	Reto
Objetivo: Minimizar costos	0.41	6.73	0.01	0.51	0.07	Amenaza
Recursos No Renovables	0.25	23.08	0.00	0.21	0.40	Amenaza

- Los ajustes propuestos al *software* ECI-RCMPSP tienen una orientación a las particularidades del sector de la construcción.
- 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.
- Al ver el RII para el objetivo de minimizar los costos en los sectores, sugiere que el ajuste propuesto al *software* respecto a la variable, es necesario principalmente para el sector de construcción.

9

CONCLUSIONES & RECOMENDACIONES

ASIGNACIÓN POR ACTIVIDAD



PROYECTOS DEPENDIENTES (83%)

CRONOGRAMAS – EXCEL&MS PROJECT

DIAGRAMA DE GANTT (76%)

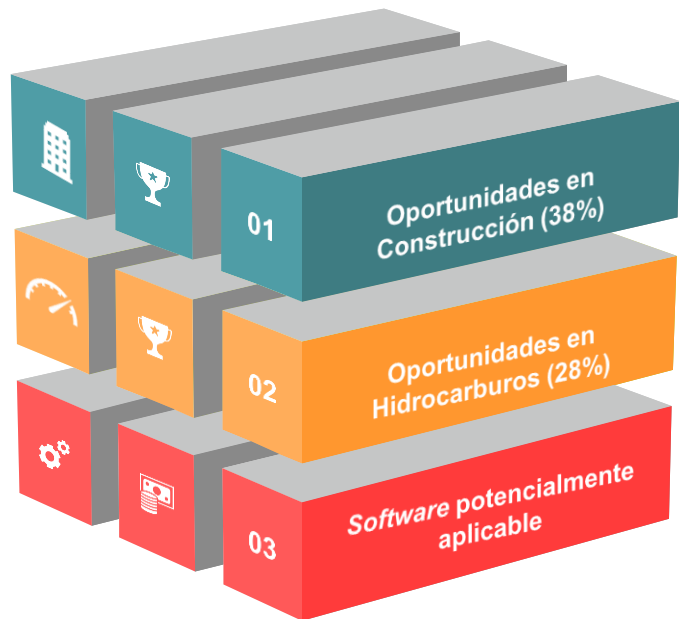
AMBIENTE DINÁMICO (85%)

ASIGNACIÓN CENTRALIZADA (61%)

RECURSOS GLOBALES (83%)

Combinación de reglas de prioridad (32%) incluido la experiencia

- Programar las actividades de acuerdo con su fecha de inicio y fin
- Programar las actividades de acuerdo con la disponibilidad de recursos



Teniendo en cuenta las 16 variables analizadas (40 categorías). 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%)**.

Teniendo en cuenta las 16 variables analizadas (40 categorías). 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%)**.

Los ajustes propuestos pueden aumentar la potencialidad de aplicación del *software*, agregándole mayor flexibilidad (aplicabilidad) en los sectores estudiados, 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.



RECOMENDACIONES

01

Ajustes al Software

Aumentar su potencial
aplicación comercial



02

Spin-Off

Evaluar casos de estudio y experimentos
para probar el desempeño del *software*
ECI-RCMPSP principalmente en
Construcción



03

Aplicación del Instrumento

Analizar la potencial aplicación del
software en otros sectores de la
economía Colombia

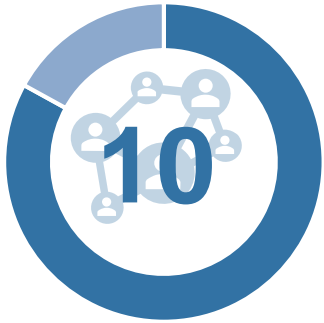


10

GERENCIA DEL TRABAJO DE GRADO



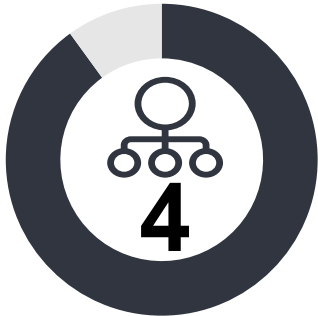
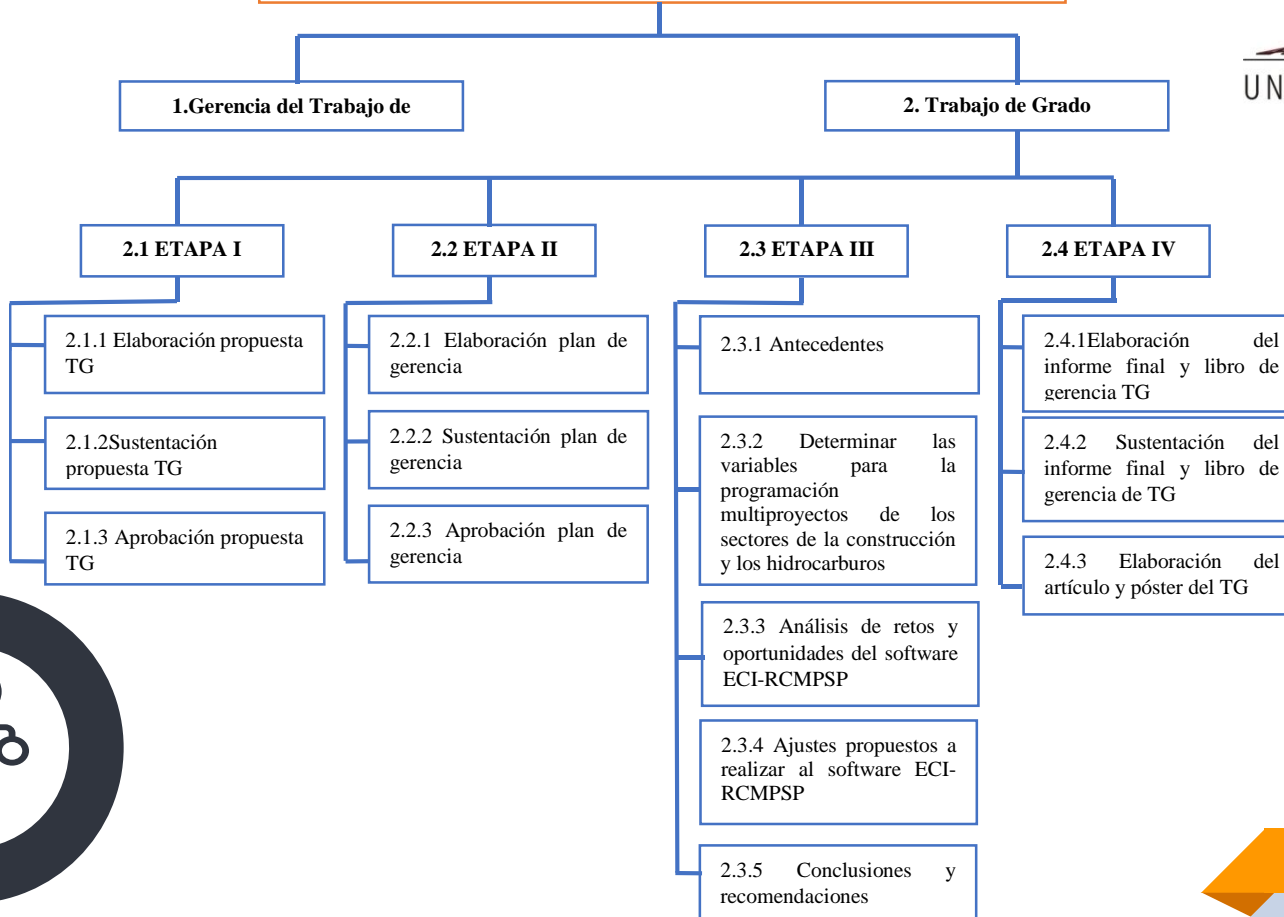
STAKEHOLDERS



- | | | | |
|---|------------------------------|----|--|
| 1 | Director Trabajo de Grado | 6 | Asesores Técnicos & Metodológicos |
| 2 | Equipo Trabajo de Grado | 7 | Autores Fase 1 & Fase 2 |
| 3 | Grupo de Investigación ECI | 8 | Jurados |
| 4 | Comité Trabajo de Grado | 9 | Unidad de Proyectos |
| 5 | Director Unidad de Proyectos | 10 | Organizaciones del sector de la Construcción e Hidrocarburos |

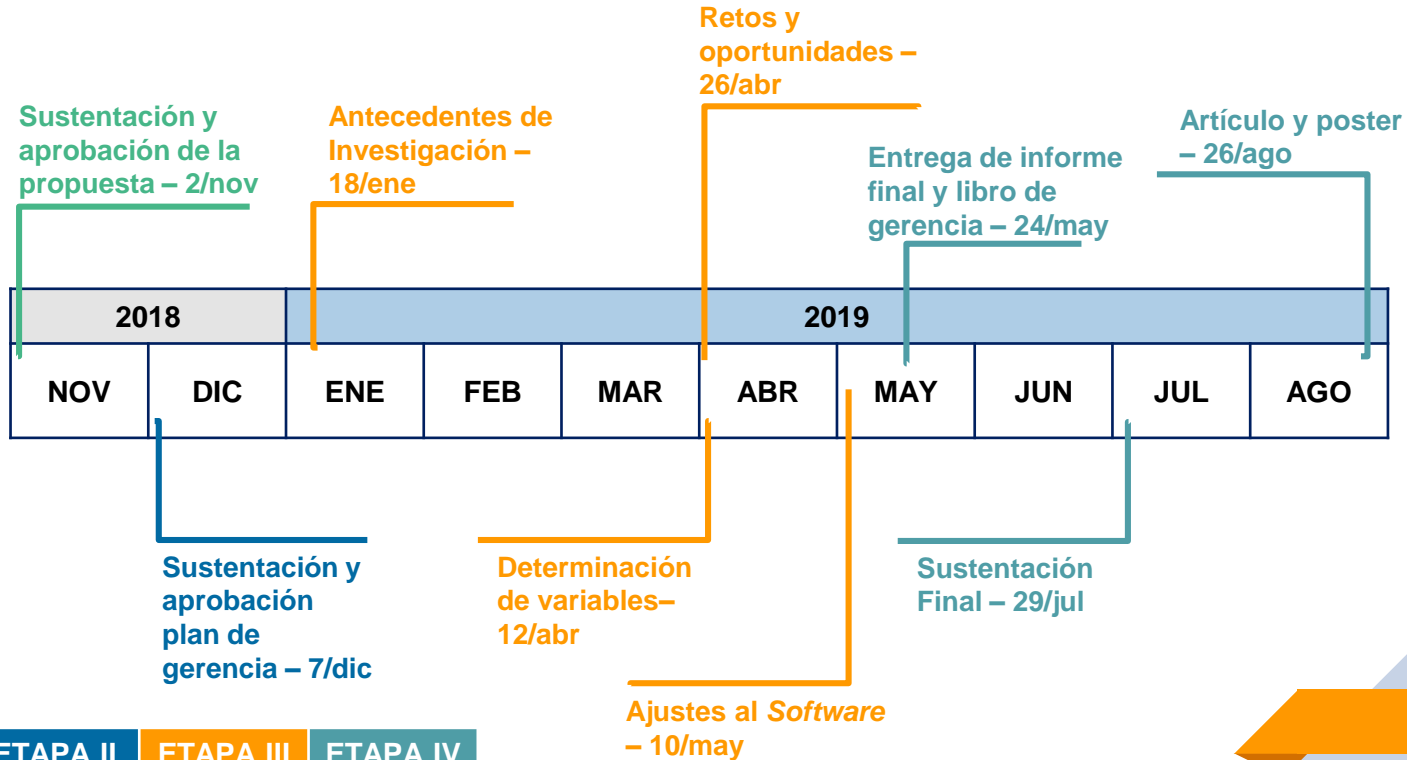


0. Análisis de la potencial aplicación del software ECI-RCMPSP para la solución al problema de programación de multiproyectos con recursos restringidos en grandes empresas de los sectores de construcción e hidrocarburos de Bogotá



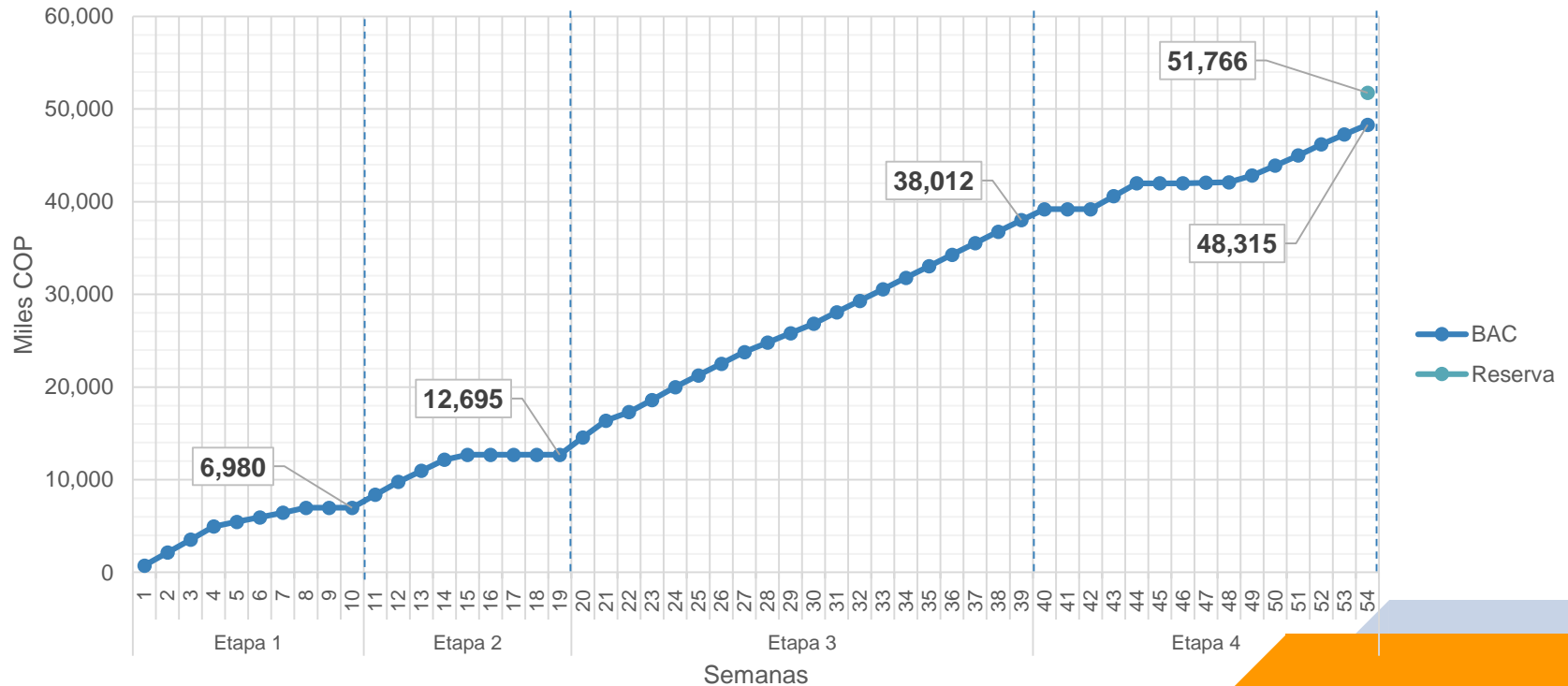


LÍNEA BASE DE TIEMPO





LÍNEA BASE DE COSTO





GERENCIA DE PROYECTO



 **INFORMES DE DESEMPEÑO**

 **ACTAS DE REUNIÓN**

 **RIESGOS MATERIALIZADOS**

 **CONTROL DE CAMBIOS**



COMUNICACIONES

Estandarización de correos, creación de grupos virtuales, manejo de herramientas informáticas para reuniones (Skype, One Drive, Hangouts)



GERENCIA DE PROYECTO

Riesgos

RESPUESTAS



R02

Redistribución de las responsabilidades entre el equipo para mantener la línea base de tiempo

R04

Solicitud a la Unidad de Proyectos un nuevo director y su respectiva alineación con el trabajo de grado

R06

Dedicación de horas adicionales por parte del equipo para retornar al plan establecido



GERENCIA DE PROYECTO

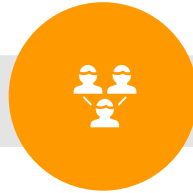
Solicitud de Cambios



Nombre del trabajo de grado & Objetivos específicos



Observaciones en las sustentaciones Etapa 1 y 2, y por parte de la nueva directora



Cambio en estructura del presupuesto & Organigrama del trabajo de grado



Materialización del Riesgo 02

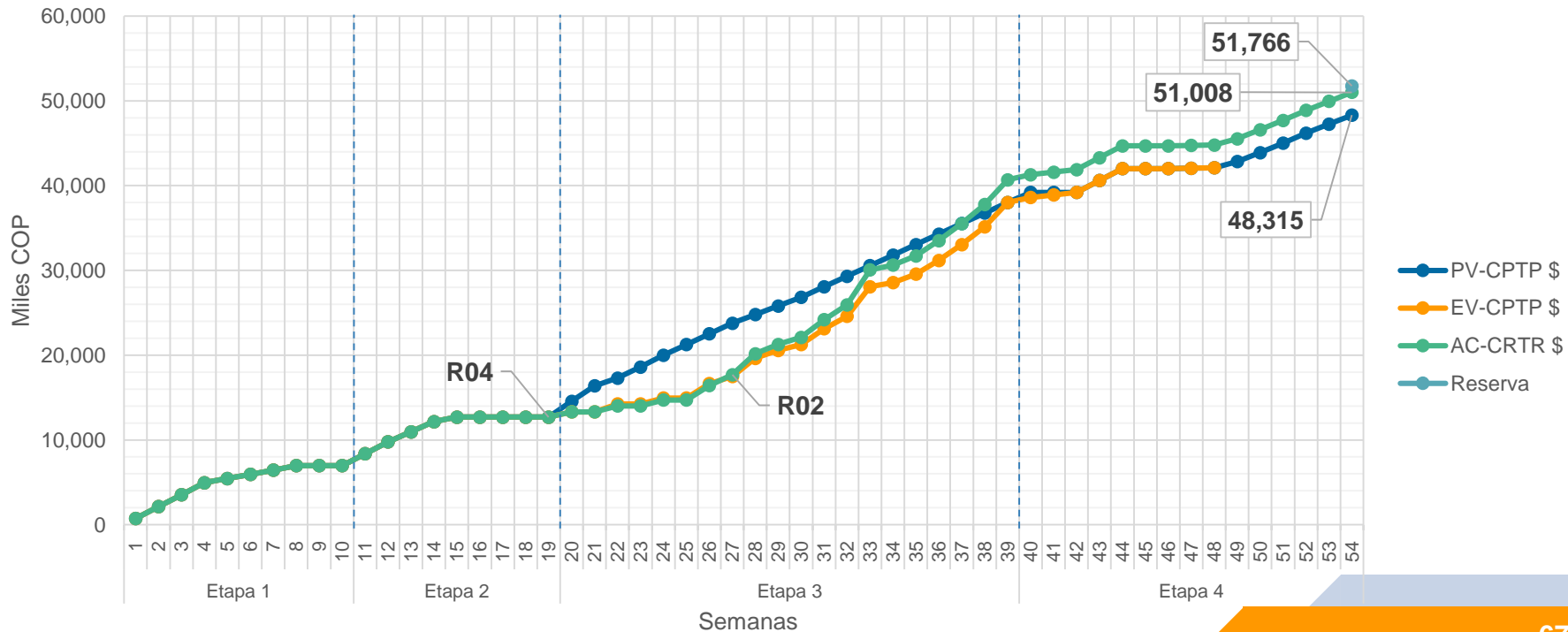


Cambios Aprobados & Realizados



GERENCIA DE PROYECTO

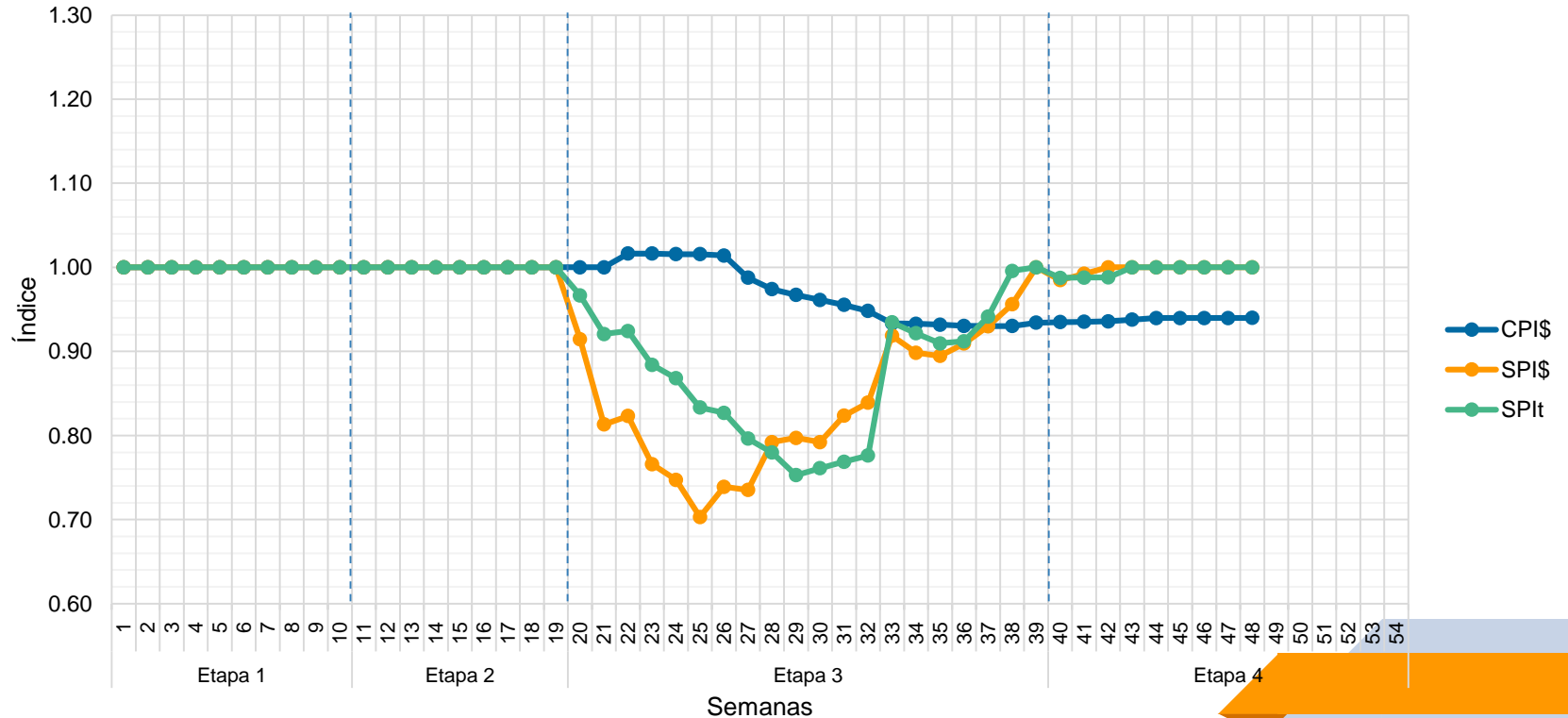
Indicadores de Gestión





GERENCIA DE PROYECTO

Indicadores de Desempeño





LECCIONES APRENDIDAS



INFORME

Garantizar coherencia, consistencia y enfoque del informe del trabajo de grado.

La elaboración del informe requiere atención en aspectos de normas de citación y redacción.



VALIDACIÓN

Obtener comentarios al trabajo de grado por parte de personas externas con el fin de validar la claridad del enfoque desarrollado y comprensión del documento.

Validar con expertos los elementos (instrumentos, pruebas estadísticas) para cumplir con los objetivos planteados.



TIEMPO

Mejorar el manejo y disponibilidad para los tiempos de reunión, con preparación previa y entregables en tiempos pactados.



COMUNICACIÓN

Efectiva, oportuna y cordial comunicación entre los miembros del equipo, y con externos.

Compromiso y motivación entre el equipo para el logro de los objetivos

Adecuado manejo de *stakeholders*, comunicación activa para el avance del trabajo



SEGUIMIENTO

Adecuado seguimiento y control del cronograma del trabajo de grado, ante la materialización de riesgos, permitió la toma de decisiones de manera eficaz.

Mayor control a los costos presupuestados para evitar desviaciones

BIBLIOGRAFÍA



BIBLIOGRAFÍA

- 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). Agencia Colombia de Petroleo, *Informe Estadístico Petrolero*. Retrieved from <http://www.acp.co>
- 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.escolaing.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/ANDIBalance2017Perspectivas 2018.pdf>
- ANH. (2018). Agencia Nacional de Hidrocarburos. Retrieved from <http://www.anh.gov.co/Paginas/inicio/defaultANH.aspx>
- Araszkievicz, 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, S., 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.escolaing.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). *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., Ülge-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.(2018). Cámara Colombiana de Construcción. *Construyendo Colombia 2018-2022*. Retrieved from <https://camacol.com/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 revisión 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>
- 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. (2018). Departamento Administrativo Nacional de Estadística . Estadísticas por tema. Retrieved from <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema>
- 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. *lie 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>



BIBLIOGRAFÍA

- 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 (RCPSPP): 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). Project Managemet Institute. Análisis del Sector de Infraestructura. Retrieved from <https://www.pmicolombia.org/>
- 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/10.1063/1.50218>