

ESCUELA
COLOMBIANA
DE INGENIERÍA
JULIO GARAVITO

ANÁLISIS DE LA COMBINACIÓN DE METODOLOGÍAS BASADAS EN REGLAS DE PRIORIDAD (PR) PARA LA SOLUCIÓN DE PROBLEMAS DE PROGRAMACIÓN DE MÚLTIPLES PROYECTOS CON RECURSOS RESTRINGIDOS (RCMPSP)

SUSTENTACIÓN FINAL TRABAJO DE GRADO

Maestría en Desarrollo y Gerencia Integral de Proyectos

DIRECTOR:

Ing. Germán Eduardo Giraldo González

Ing. Nancy Johana Amaya Rodríguez

Ing. María Angélica Ayala Betancourt

Ing. Rafael Alexander Doncel Velasco

Ing. Oscar Javier Sarmiento Álvarez

AGENDA

1

Antecedentes

2

Justificación

3

Propósito

4

Objetivos

5

Marco teórico

6

Metodología

7

Resultados

8

Conclusiones

9

Recomendaciones
Y trabajo futuro

10

Gerencia del
Trabajo de grado

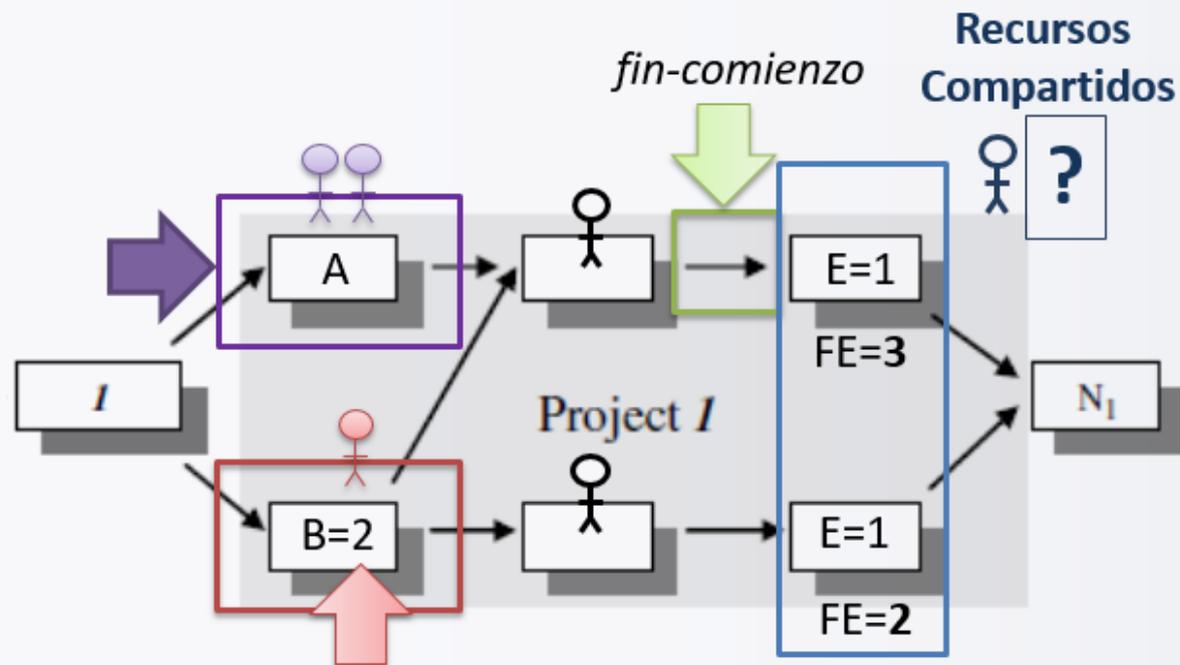
11

Bibliografía

1. ANTECEDENTES



PROBLEMA (1) RCPSP (Resource Constrained Project Scheduling Problem)
 PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN DE PROYECTOS CON RECURSOS RESTRINGIDOS



El cronograma de un (1) proyecto requiere:

ACTIVIDADES

DURACIONES

DEPENDENCIAS

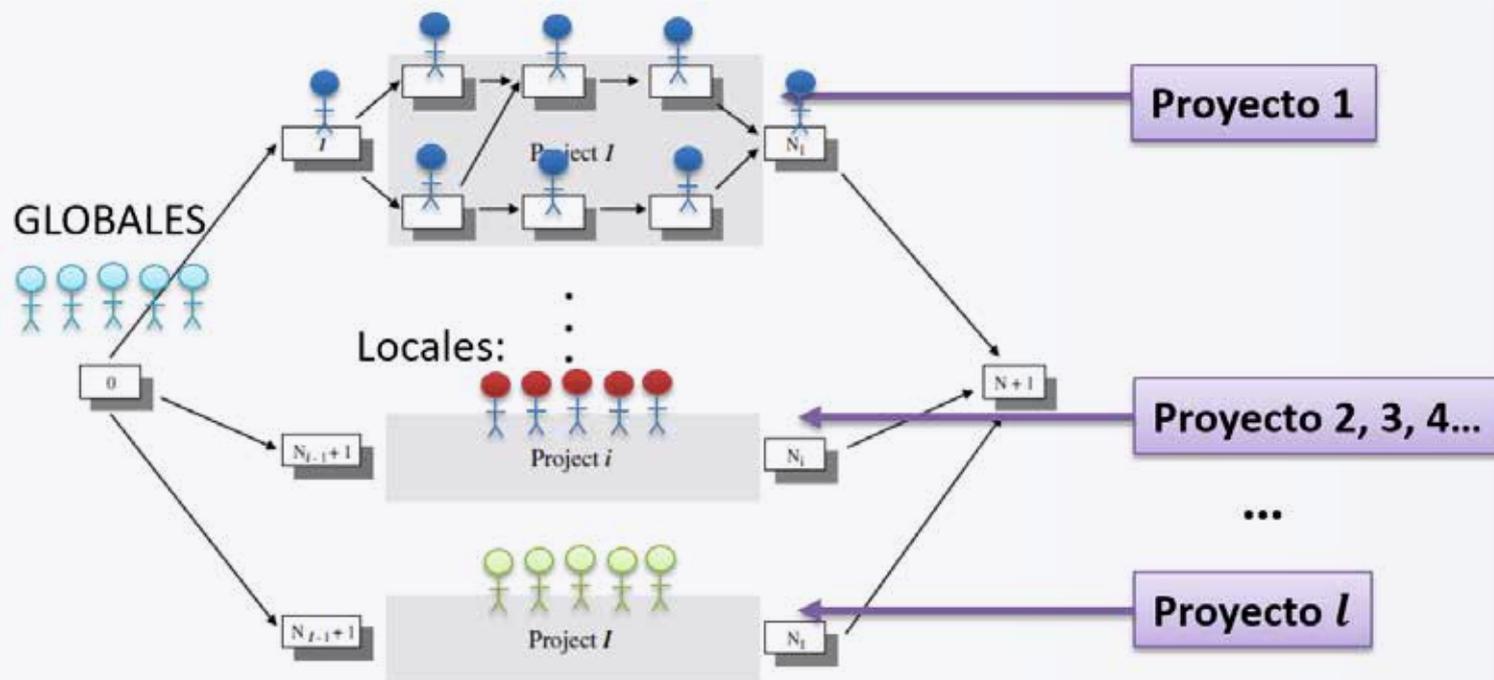
RECURSOS

A

B = 2



PROBLEMA (2) RCMPSP (Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem)
 PROBLEMA DE PROGRAMACIÓN DE MULTI-PROYECTOS CON RECURSOS RESTRINGIDOS



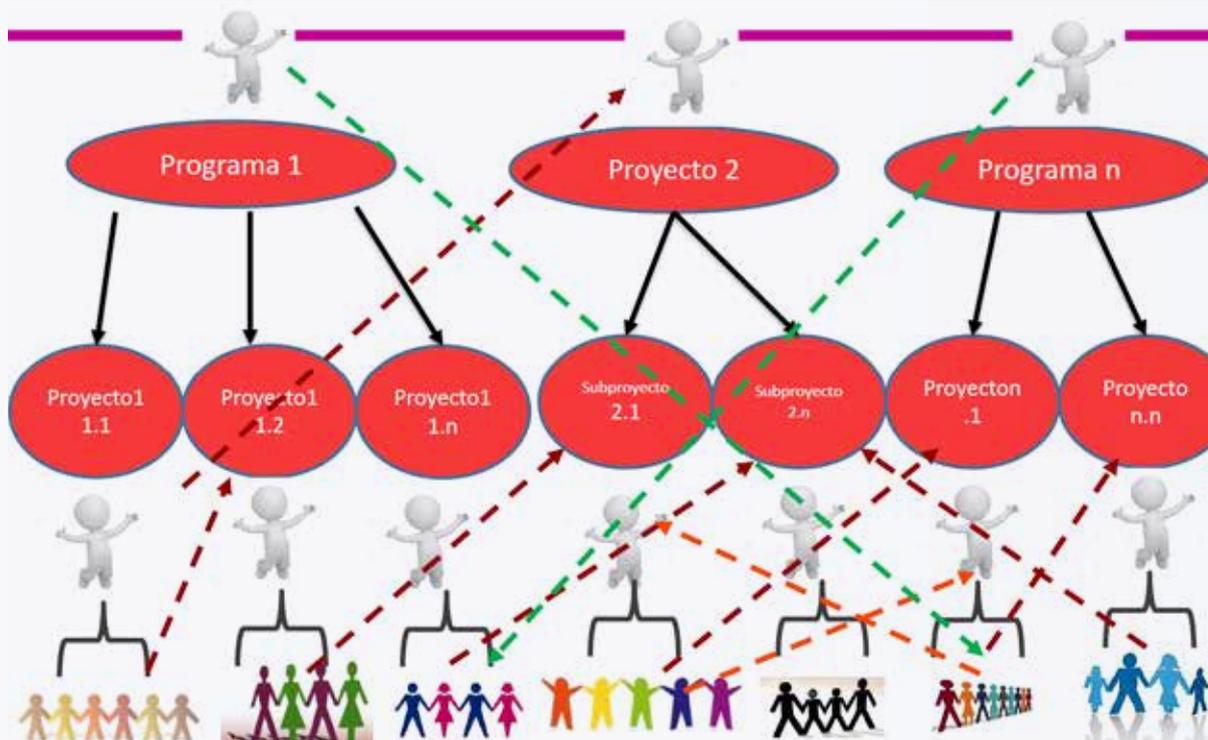
Proyectos independientes,
Diferentes prioridades

Actividades predefinidas

Dependencias entre
actividades

Duración de cada proyecto
y del portafolio

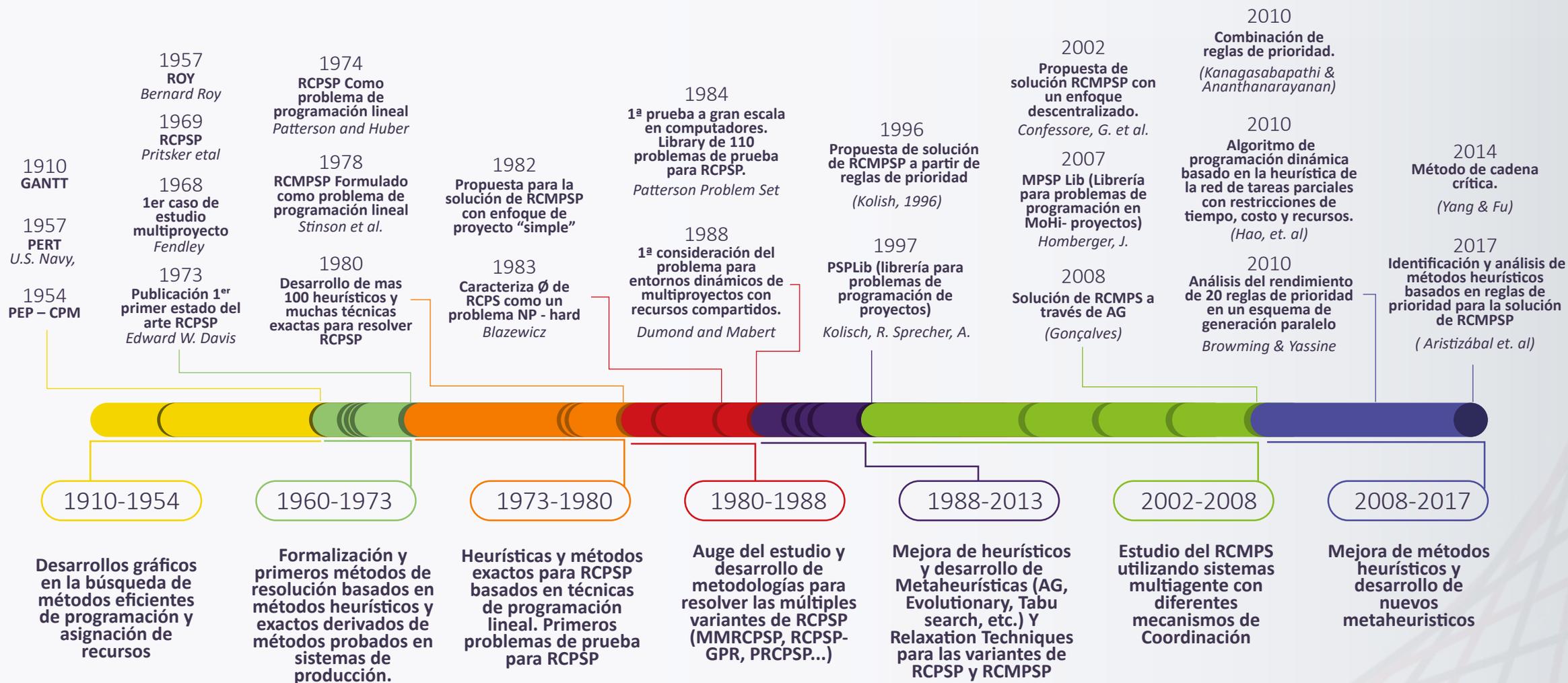
Recursos compartidos:
globales / locales

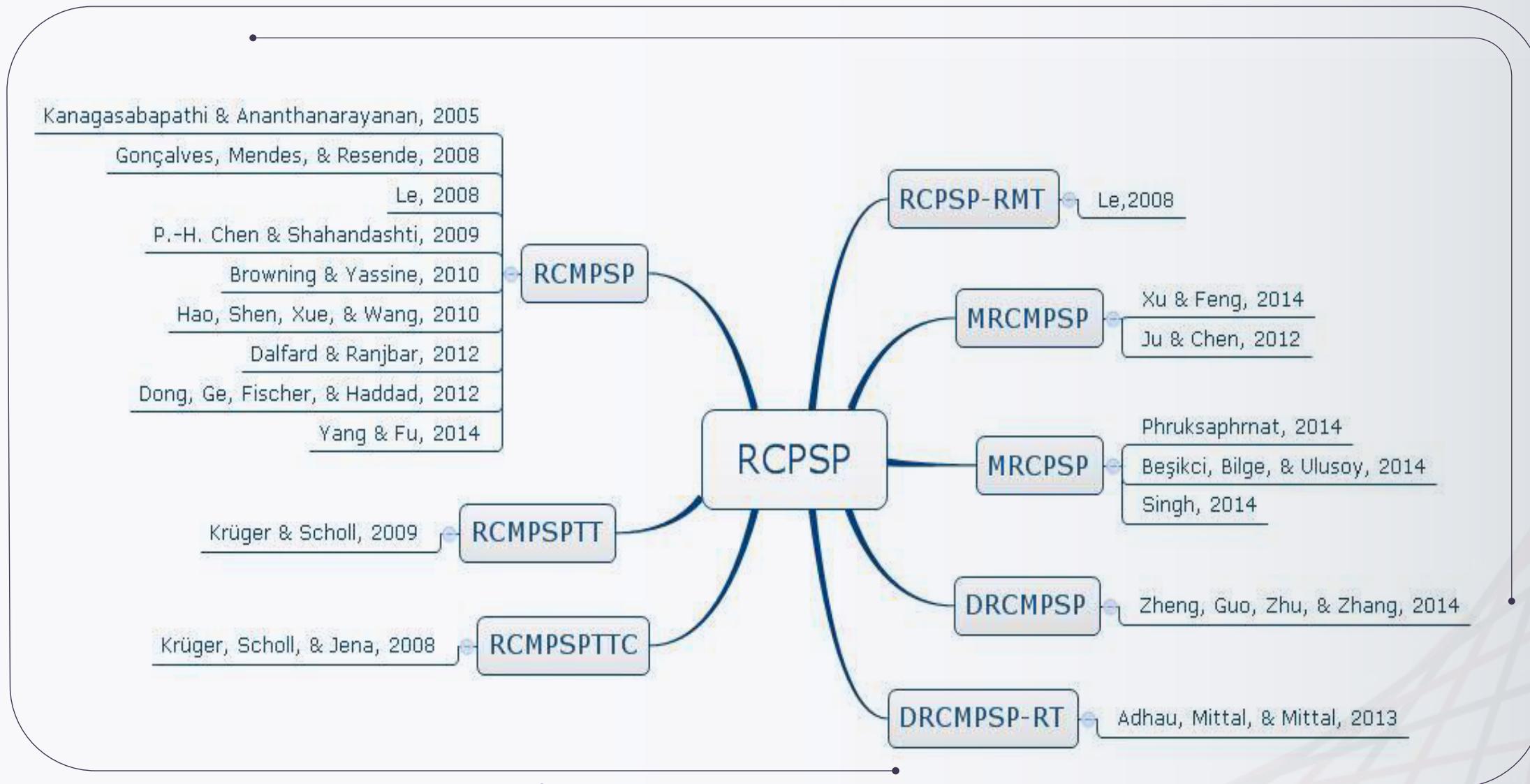


• **Lova et al. (2000)** afirman que el 84% de las empresas trabajan con proyectos múltiples y simultáneos.

Payne (1995) advierte que el 90%, por valor, de todos los proyectos ocurre en el contexto de multi-proyectos.

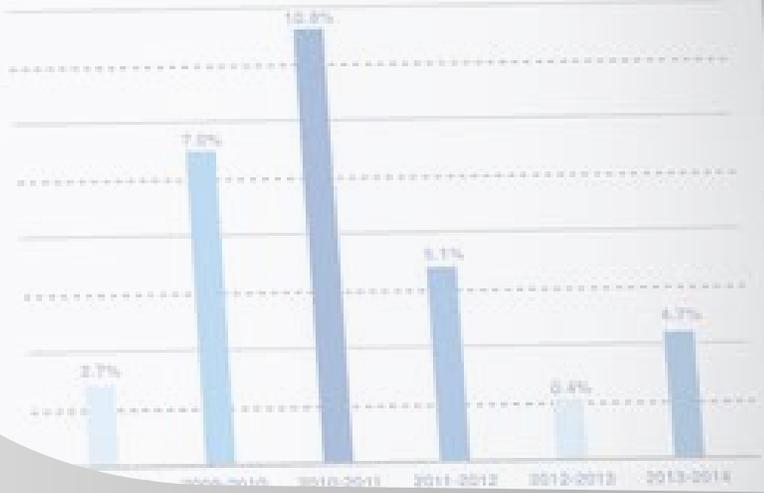
LÍNEA DE TIEMPO CON LAS ETAPAS E HITOS MÁS IMPORTANTES EN EL ESTUDIO DE PROBLEMAS RCPSP Y RCMPSP





GLOBAL SHARE of Social Networking

Social networking trends are ever changing and fast paced. The present trends could be divided into regions, based on cultural aspects. The regions preview various trends. The major expansion is within the greater regions.



2. JUSTIFICACIÓN

01

PROBLEMA
POR RESOLVER

Cómo optimizar la duración total y la utilización de los recursos entre proyectos que se desarrollan en ambientes multi-proyectos.

02

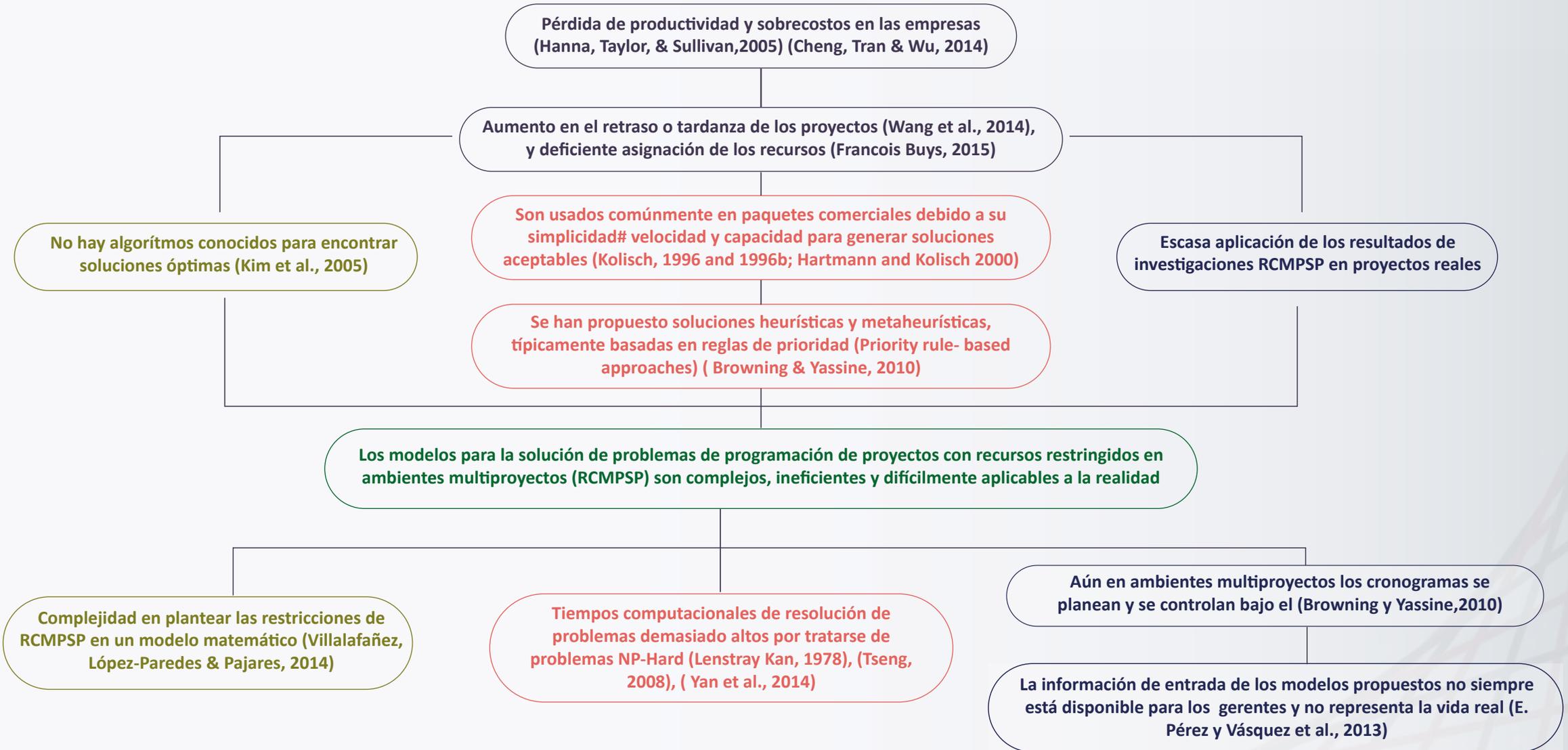
NECESIDAD
POR SATISFACER

Desarrollo de mejores métodos heurísticos y sus combinaciones para resolver el problema RCMPSP.

03

OPORTUNIDAD
POR APROVECHAR

El problema de programación de multi-proyectos ha sido poco tratado en la literatura ya que la atención se ha centrado en resolver el problema RCPS. No obstante, la mayoría de las organizaciones modernas desarrollan sus actividades en un ambiente multi-proyecto.



3. PROPÓSITO.

Contribuir al aumento de la probabilidad de **éxito** de la gerencia de proyectos mediante la mejora de las medidas de desempeño en tiempo, a través de la **identificación y análisis de metodologías** para la **programación de múltiples proyectos con recursos restringidos**, que sean aplicables a situaciones reales del entorno productivo colombiano.



4. OBJETIVOS

Combinar y analizar métodos heurísticos basados en reglas de prioridad (PR) para la solución de problemas de programación de múltiples proyectos con recursos restringidos (RCMPSP).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

01

Desarrollar un método heurístico a partir de la combinación de dos (2) y tres (3) reglas de prioridad (PR) y aplicarlos a instancias identificadas en la literatura científica.

02

Evaluar el desempeño del método heurístico seleccionado con respecto a cada una de las diez (10) medidas de desempeño e instancias seleccionadas, presentando un ordenamiento de las mejores reglas de prioridad.

03

Analizar la relación del uso de los recursos y la complejidad de la red vs la minimización del tiempo de completamiento de un multi-proyecto

04

Identificar y caracterizar una instancia de mayor complejidad que permita la futura aplicación de las mejores reglas de prioridad.

05

Caracterizar como una instancia un multi-proyecto en el sector de la construcción en Colombia, que permita la futura aplicación de las mejores reglas de prioridad identificadas.

5. MARCO TEÓRICO

MODELO BÁSICO DEL PROBLEMA RCMPSP

PROYECTOS: $I = \{1, 2, \dots, L\}$
ACTIVIDADES: $j_I = \{1, 2, \dots, N\}$
TIPOS RECURSOS: $r_k = \{1, 2, \dots, K\}$
CAPACIDAD DE RECURSOS: R_k

ACTIVIDADES
 j'

Duración determinística d_{j_I}

Relaciones de precedencia FC

Requerimientos de recursos $r_{j_I k}$

Due date (Ruta crítica) dd_{j_I}

OPTIMIZAR MEDIDA DE DESEMPEÑO:
Makespan

Min (Max ($FT_{1,1}, \dots, FT_{J,L}$))

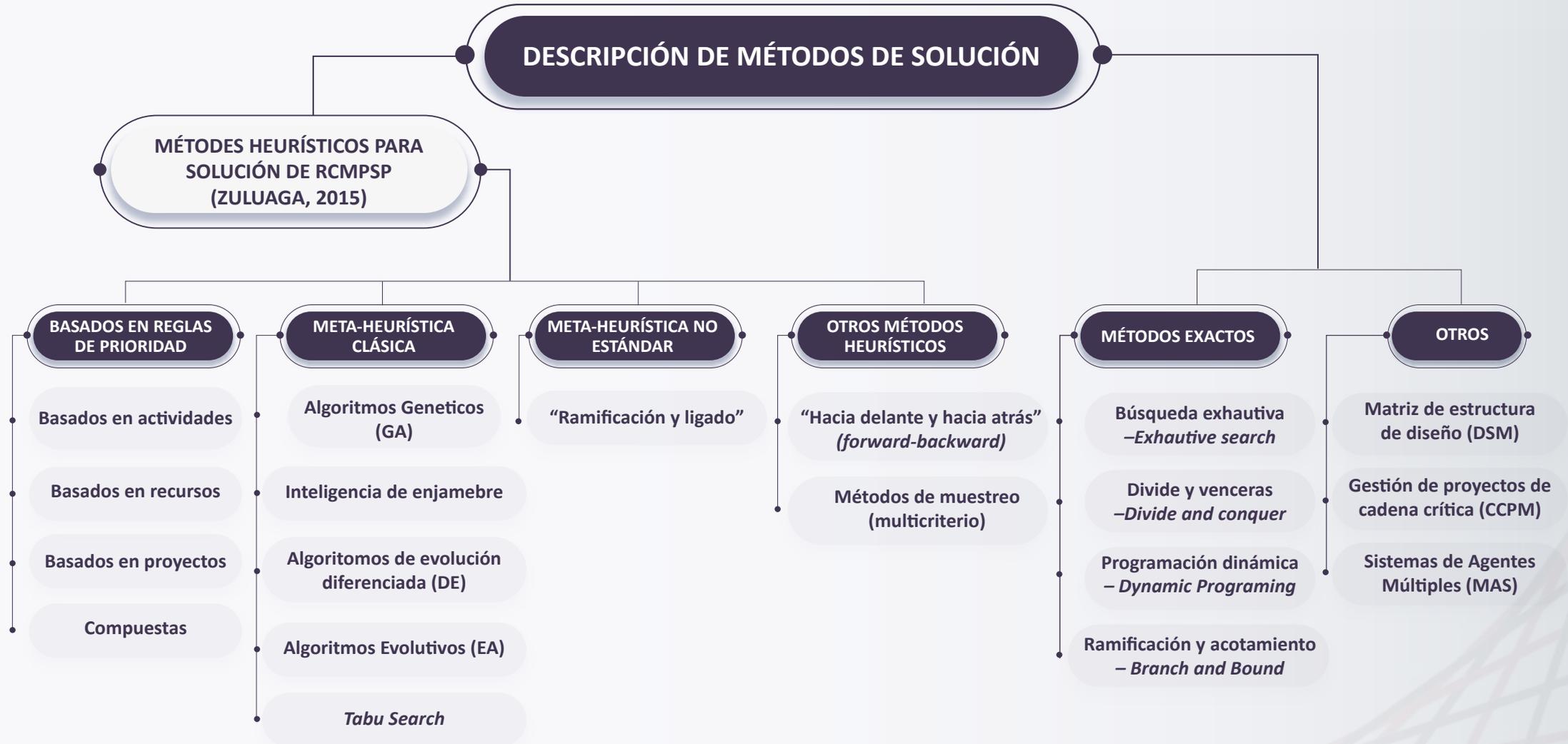
SUJETO A:

- 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 locales
- No *preemptions*
- Asignación centralizada de recursos







6. METODOLOGÍA.

01 PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cuál de las combinaciones de reglas de prioridad tiene el mejor desempeño en cuanto a tiempo y utilización de recursos en ambientes multi-proyectos?

TIPO DE
INVESTIGACIÓN

ENFOQUE CUANTITATIVO

EXPLORATORIO

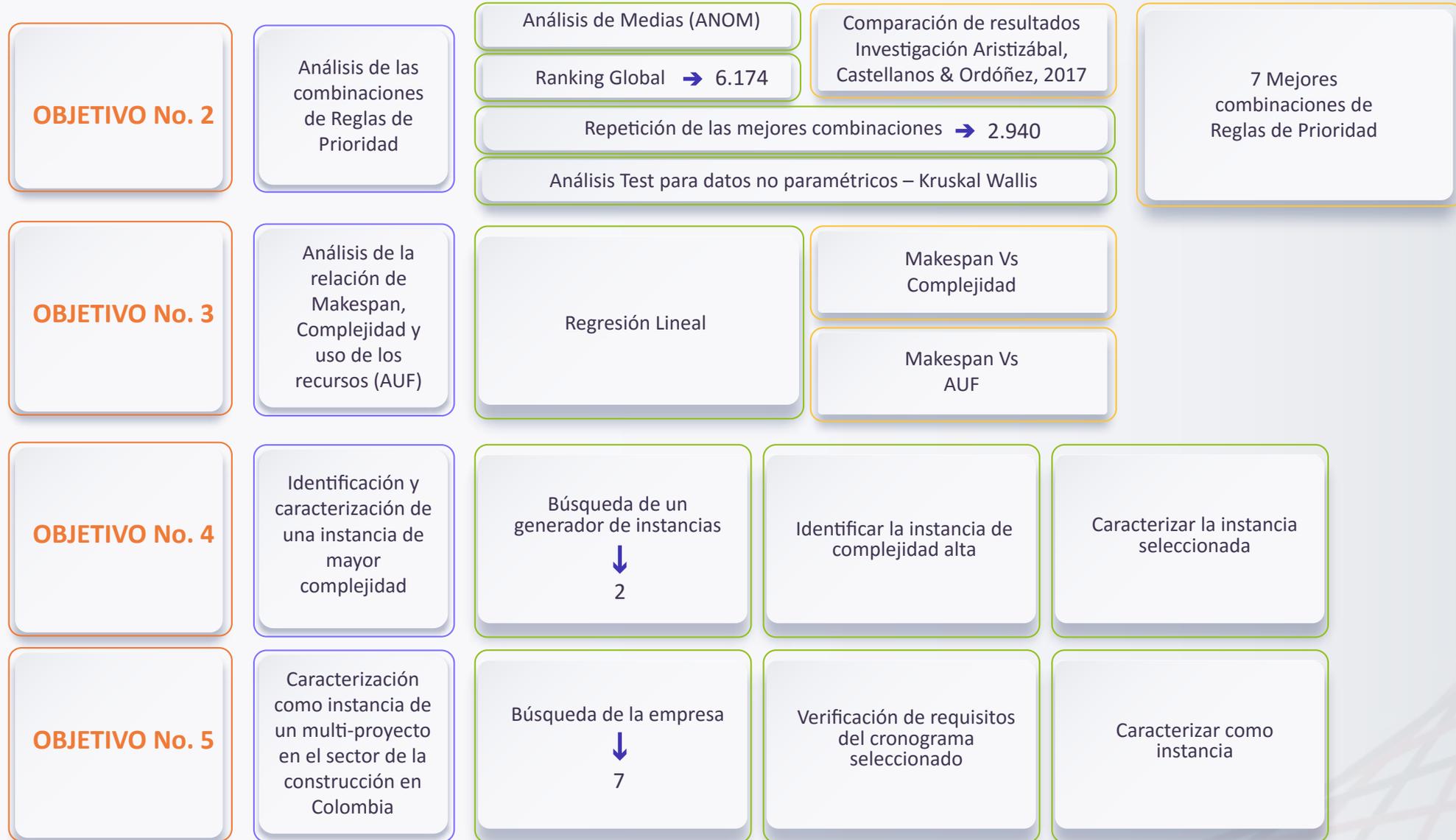


DISEÑO EXPERIMENTAL

ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN



ETAPAS DE LA INVESTIGACIÓN



**KATSAVOUNIS,
2008**

Debido a la complejidad de los problemas de RCMPSP, las heurísticas basadas en reglas de prioridad se convierten en la única forma “práctica” de construir un algoritmo factible

**QINGLI HAO,
ET. AL 2009**

La clave para programar la coordinación de múltiples proyectos es detectar conflictos y resolverlos a través de un proceso de toma de decisiones.

**Opciones
de decisión
básicas**

Priorizar
(proyectos o tareas)

Bloquear (tareas)

Desplazar (tareas)

Liberar (restricciones)

Browning & Yassine (2010) afirman que las reglas de prioridad en la búsqueda de solución al RCMPSP son importantes por las siguientes razones:

1

Son útiles para resolver problemas muy grandes (Kolisch, 1996)

2

Permiten obtener soluciones iniciales para metaheurísticos (Hartmann & Kolish, 2000)

3

Velocidad y Simplicidad (Herroelen, 2005)

REGLA DE PRIORIDAD: Criterio que permite decidir qué actividades realizar primero manteniendo el orden lógico de la red de programación.

■ Basadas en actividad	10
■ Basadas en actividad y proyecto	2
■ Basadas en actividad y recursos	4
■ Basadas en prioridad de usuario	2
■ Aleatorias	1
■ Total Reglas Seleccionadas	19

BASADAS EN ACTIVIDAD

SIGLA	Nombre	BASE / DESCRIPCIÓN
EDD	Fecha de entrega más temprana (<i>Earliest Due Date</i>)	Se programa primero la actividad con el mínimo comienzo tardío o (<i>Late Start</i>)
FCFS	Primera en llegar primera en terminarse (<i>First Come First Served</i>)	Se programa primero la actividad que tenga el mínimo comienzo temprano (<i>Early Start</i>)
LCFS	Última en llegar primera en servirse (<i>Last come first served</i>)	Se programa primero la actividad que tenga el máximo comienzo temprano o (<i>Early Start</i>)
MAXSLK	Holgura Máxima (<i>Maximum Slack</i>)	Se programa primero la actividad que tenga la holgura máxima.
MCS	Máximo total de sucesores críticos (<i>Maximum critical sucesors</i>)	Se programa primero las actividades que tengan mayor número de sucesoras críticas (holgura 0)
MINLFT	Mínimo final tardío (<i>Minimum late finish time</i>)	Se programa primero la actividad que tenga el mínimo final tardío (<i>Late Finish Time</i>)
MINSLK	Holgura mínima (<i>Minimum Slack</i>)	Se programa primero la actividad que tenga la holgura mínima.
MOF	Actividad con la duración más larga primero (<i>Maximum operation first</i>)	Se programa primero la actividad que tenga la duración más larga.
MS	Máximo total de sucesoras (<i>Maximum total Successors</i>)	Se programa primero las actividades que tengan mayor número de sucesoras
SOF	Actividad con la duración más corta primero (<i>Shortest operation first</i>)	Se programa primero la actividad que tenga la mínima duración.

BASADA EN ACTIVIDAD Y PROYECTO

SIGLA	Nombre	BASE / DESCRIPCIÓN
LALP	Actividad más larga del proyecto más largo (<i>Longest activity from longest Project</i>)	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.
SASP	Actividad más corta del proyecto más corto (<i>Shortest activity from shortest Project</i>)	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.

BASADA EN PRIORIDAD DE USUARIO

SIGLA	Nombre	BASE / DESCRIPCIÓN
WAP	Prioridad dada por el usuario 1: prioridad por importancia de Actividad (<i>Weight Activity Priority</i>)	El usuario puede dar prioridad a las actividades y luego se programa primero las actividades con mayor prioridad
WPP	Prioridad dada por el usuario 2: prioridad por importancia de proyecto. (<i>Weight Project Priority</i>)	El usuario puede dar prioridad a los proyectos y luego se programa primero las actividades que pertenezcan al proyecto de mayor prioridad

BASADA EN ACTIVIDAD Y RECURSOS

SIGLA	Nombre	BASE / DESCRIPCIÓN
MAXTWK	Máximo contenido de trabajo total (<i>Maximum total Work content</i>)	Se programa primero la actividad con mayor contenido de trabajo.
MINTWK	Mínimo contenido de trabajo total (<i>Minimum total Work content</i>)	Se programa primero la actividad con menor contenido de trabajo
TWK-EST	Contenido de trabajo total y tiempo de inicio temprano (<i>MAXTWK & Earliest early Start Time</i>)	Se programa primero la actividad con máximo contenido de trabajo total y en caso de empate se escoge la actividad con mínimo tiempo de inicio temprano.
TWK-LST	Contenido de trabajo total y tiempo de inicio tardío (<i>MAXTWK & Earliest Late Start Time</i>)	Se programa primero la actividad con máximo contenido de trabajo total tal como en MAXTWK y en caso de empate se escoge la actividad con mínimo tiempo de inicio tardío.

ALEATORIO

SIGLA	Nombre	BASE / DESCRIPCIÓN
RAN	Aleatorio (Random)	Se seleccionan aleatoriamente las actividades, o en su defecto se utiliza como criterio de desempate

INSTANCIAS: son redes de programación generadas para probar métodos de solución a los problemas RCPS o RCMPSP

PASO
01

SELECCIÓN DE LIBRERÍA

Librería seleccionada MPSPLIB (Multiproject Scheduling Problem Library)

PASO
02

PARÁMETROS DE SELECCIÓN

Número de
proyectos (P)

Número de
trabajos por
proyecto (J)

Número de recur-
sos globales por
multi-proyecto (G)

Complejidad
de la red (C)

PASO
03

INSTANCIAS SELECCIONADAS

Complejidad Baja

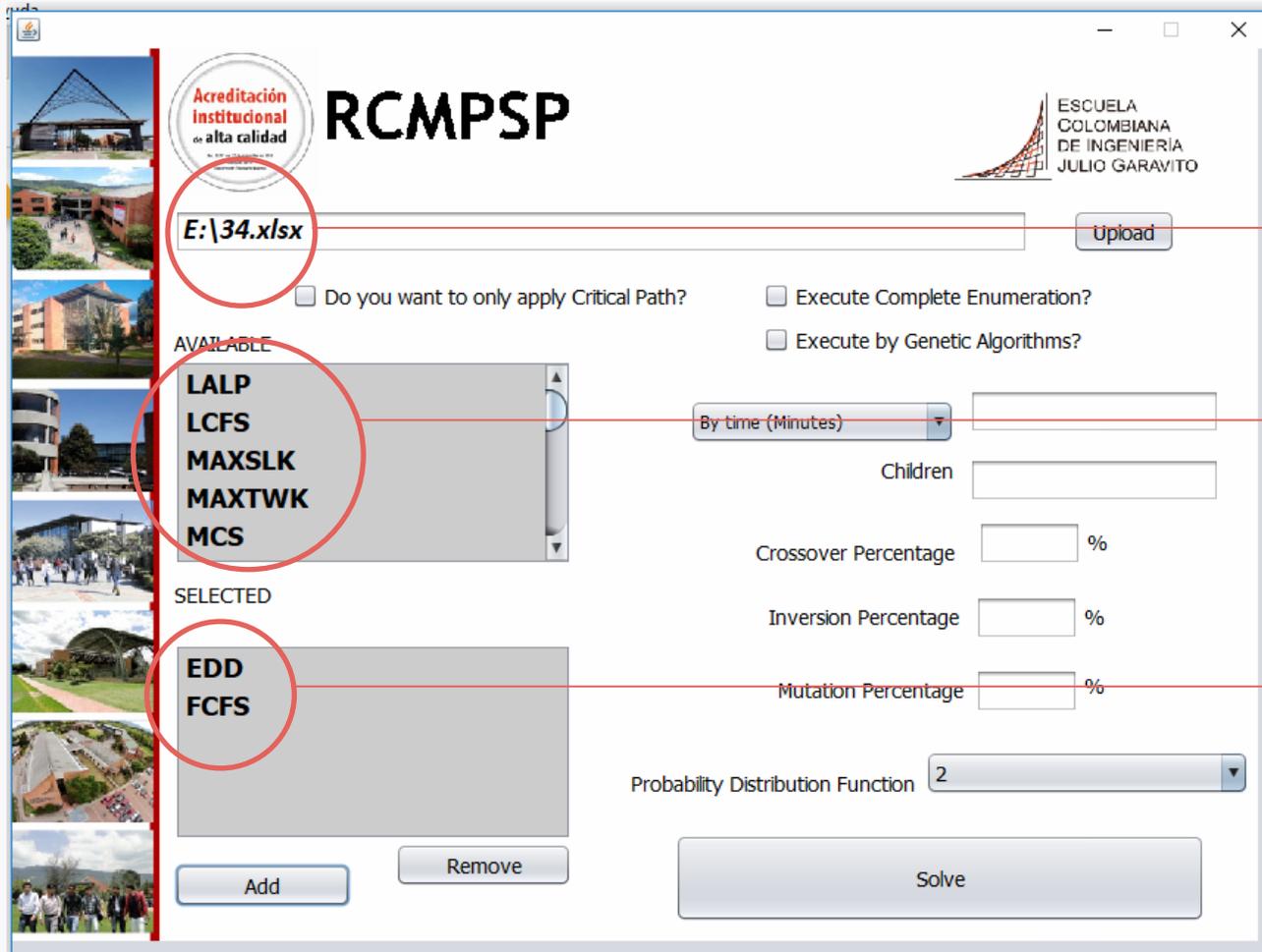
Número de Proyectos	Número de Recursos			
	1	2	3	4
2	-	-	49	128
5	57	38	59	99
10	45	3	24	108
20	12	53	34	113

MEDIDA DE DESEMPEÑO: Variable que permite medir el desempeño de una posible solución al problema planteado.

MEDIDA DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
Tc Tiempo computacional	Total de tiempo consumido por el software en resolver la instancia
C Program Makespan	Esta función mide el tiempo de duración total o finalización de todas las actividades del programa.
F Program mean flow time	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).
L Program maximum lateness	Representa el máximo retraso de una actividad dentro del multi-proyectos y busca minimizar este retraso máximo.
L Program mean lateness	Representa el retraso promedio de las actividades del multi-proyectos.

MEDIDAS DE DESEMPEÑO SELECCIONADAS

MEDIDA DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN
T <i>Program total tardiness</i>	Representa el retraso total del multi-proyectos, es una medida del lateness y solo opera para valores positivos.
mT <i>Program maximun tardiness</i>	Representa el máximo retraso de una actividad dentro del multi-proyectos y busca minimizar este retraso máximo.
T <i>Program mean tardiness</i>	Representa el retraso medio de todo el multi-proyectos, para su cálculo divide la tardanza total entre el número de actividades tardías.
NL <i>Program number of tardy projects</i>	Representa la cantidad de proyectos que están terminando tarde dentro del multi-proyectos.
NJ <i>Program number of tardy jobs</i>	Representa la cantidad de actividades que están terminando tarde dentro del multi-proyectos.



RCMPSP

ESCUELA COLOMBIANA DE INGENIERÍA JULIO GARAVITO

E:\34.xlsx

Do you want to only apply Critical Path? Execute Complete Enumeration?
 Execute by Genetic Algorithms?

AVAILABLE

- LALP
- LCFS
- MAXSLK
- MAXTWK
- MCS

SELECTED

- EDD
- FCFS

By time (Minutes)

Children

Crossover Percentage %

Inversion Percentage %

Mutation Percentage %

Probability Distribution Function

Instancia seleccionada

Reglas de Prioridad

Combinación de reglas de prioridad

COMBINACIÓN DE DOS REGLAS DE PRIORIDAD (EDD FCFS) PARA LA INSTANCIA 34



COMBINACIÓN DE TRES REGLAS DE PRIORIDAD (EDD FCFS WAP) PARA LA INSTANCIA 34



Combinación con orden (permutación) y sin repetición

$$P_k^n = \frac{n!}{(n - k)!}$$

Fuente: (Montgomery & Runger, 1996)

DONDE:

n: es el número de reglas de prioridad

k: es el número de combinaciones

COMBINACIÓN	NÚMERO DE POSIBLES COMBINACIONES
Doble	4.788
Triple	81.396
Total	86.184

ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS COMBINACIONES

Objetivo No. 2

ANÁLISIS DE MEDIAS (ANOM)

A partir de las medias obtenidas para cada una de las medidas de desempeño se realiza un *Ranking* para evaluar las mejores combinaciones de PR.

RANKING GLOBAL

- Normalización de datos.
- *Ranking 1 (Sólo Makespan) y Ranking 2 (Sin Makespan, tiempo computacional y program maximum tardiness).*
- Seleccionar los 100 primeros lugares de cada *Ranking*.
- Identificación de las mejores combinaciones de las PR.

REPETICIONES DE LAS MEJORES COMBINACIONES

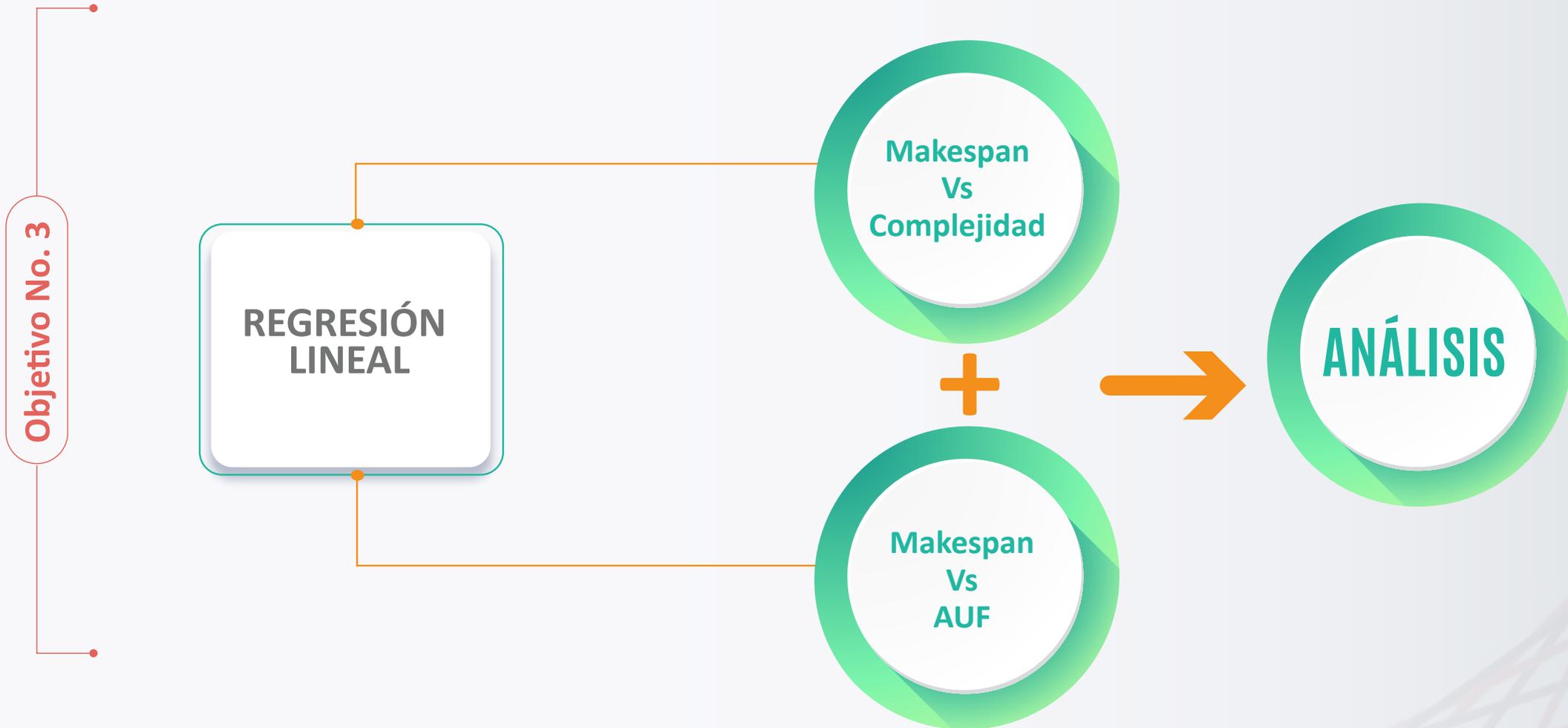
Para cada una de las mejores reglas o combinaciones obtenidas se realizan 30 repeticiones mediante el uso del *Software*, con el fin de evaluar la aleatoriedad de los resultados

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MEJORES COMBINACIONES

- Selección del Análisis de Varianza (ANOVA) para el análisis estadístico de las mejores reglas o combinaciones.
- Pruebas de homogeneidad y homocedasticidad del ANOVA Clásico
- Selección de un test para datos no paramétricos.

Comparación de los resultados con el desempeño de las PR individuales (Aristizábal, Castellanos & Ordóñez, 2017).

MEJORES COMBINACIONES DE REGLAS DE PRIORIDAD



IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE INSTANCIAS DE MAYOR COMPLEJIDAD

Objetivo No.4

BÚSQUEDA DE UN GENERADOR DE INSTANCIAS

- Revisión de Literatura
- Contacto con Tyson Browning
- Acceso a un generador de Instancias:

<http://sbuweb.tcu.edu/t-browning/RCMPSPinstances.htm>

IDENTIFICACIÓN DE INSTANCIA DE COMPLEJIDAD ALTA

Complejidad de una red

$$C = \frac{4A' - 4N - 4}{(N - 2)^2}$$

DONDE:

C: es el índice de complejidad de la red
A': número de arcos no redundantes que indican relaciones de precedencia
N: es el número de tareas

COMPLEJIDAD	INTERVALO	CATEGORÍA
Complejidad	[0; 0.2]	Baja
	[0.2; 0.5]	Media
	[0.5; 1]	Alta

CARACTERIZACIÓN DE LA INSTANCIA SELECCIONADA



CARACTERIZACIÓN DE UN MULTI-PROYECTO EN EL SECTOR DE LA CONSTRUCCIÓN EN COLOMBIA

Objetivo No. 5



NOMBRE DEL PROYECTO:
PORTAL DEL PARQUE

CARACTERÍSTICAS DEL PROYECTO.

ÁREA: Apartamentos de 50,25 m²

TIPO DE VIVIENDA: Vivienda de Interés Social (VIS).

CONJUNTO CERRADO: 100 apartamentos distribuidos en 2 etapas.

5 Torres de 5 Pisos

Parqueaderos comunes (1 Parqueaderos por cada 2 Aptos.)

En zonas Comunes: Piscina para adultos y niños, amplias zonas verdes tipo campestre, juegos infantiles, juegos de mesa, ruta de vida con gimnasio al aire libre, zona social para eventos y portería.

20 parqueaderos para visitantes.

Localización: Distrito de Aguablanca - Valle del Cauca.

Constructor: CONSTRUCCIONES CIVILES S.A. (CONCIVILES S.A.)



7. RESULTADOS

DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS SALIDA (OUTPUT) DEL SOFTWARE

MÉTRICAS DE PROYECTO

Ejemplo Combinación EDD FCFS para la instancia 3

	Makespan	Mean flowtime	Maximum Lateness	Mean lateness	Tardiness	Maximum tardiness	Mean tardiness	Number of tardy projects	Number of tardy jobs
Program	244	5,7	197	89,4	26937	197	187,1	10	290
Project									
1	212	5,9	175	66,5	1994	175	71,2	1	28
2	244	6,8	197	82,2	2465	197	85,0	1	29
3	202	5,5	172	59,6	1787	172	66,2	1	27
4	231	5,3	187	104,1	3123	187	104,1	1	30
5	238	6,1	194	99,2	2976	194	102,6	1	29
6	232	5,5	186	88,4	2651	186	88,4	1	30
7	229	5,7	185	84,9	2548	185	84,9	1	30
8	234	4,6	196	97,2	2915	196	97,2	1	30
9	243	6,5	193	113,6	3407	193	121,7	1	28
10	227	5,2	186	102,4	3071	186	105,9	1	29

Objetivo No. 1

Orden de ejecución

● Tiempo computacional en segundos
(Computing total time in Seconds)

Computing total time in Seconds	13,667
Makespan	244

Porcentaje uso de recursos

● Factor de utilización media de los recursos
(Average Utilization Factor) (AUF):

Resource distribution

	R1	R2
AUF-k:	3,69356261	3,154850088

AUF(Max(AUF1, AUF2,...,AUFk)):	3,69356261
-----------------------------------	-------------------

AUF: Average Utilization Factor, Factor de utilización media de los recursos.

TABULACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS PARA LA COMBINACIÓN EDD FCFS

Método	Instancia	Proyectos	Complejidad Programa	Recursos	Actividades	AUF	Tiempo computacional	Program Makespan	Program Mean flowtime	Program Maximum Lateness	Program Mean lateness	Program Tardiness	Program Maximum tardiness	Program Mean tardiness	Program Number of tardy projects	Program Number of tardy jobs
EDD FCFS	3	10	0,006368419	2	32	3,693562610	13,67	244,00	5,72	197,00	89,40	26937,00	197,00	187,10	10	290
EDD FCFS	12	20	0,00511984	1	32	3,648533951	35,02	284,00	5,43	227,00	84,95	51280,00	227,00	210,20	20	524
EDD FCFS	24	10	0,00431458	3	92	0,849424460	21,60	120,00	5,54	26,00	6,50	6219,00	26,00	22,10	10	632
EDD FCFS	34	20	0,001786727	3	92	1,393508772	27,321	191,00	5,47	93,00	42,35	77092,00	93,00	84,85	20	1654
EDD FCFS	38	5	0,008676417	2	92	0,593153237	1,64	114,00	5,53	6,00	1,80	1033,00	6,00	5,60	5	308
EDD FCFS	45	10	0,003642678	1	122	3,383805805	11,18	482,00	5,57	384,00	161,80	194838,00	384,00	369,10	10	1116
EDD FCFS	49	2	0,013455365	3	122	1,388125000	1,92	151,00	5,53	73,00	30,50	7391,00	73,00	72,50	2	208
EDD FCFS	53	20	0,001070688	2	122	1,263990485	28,28	181,00	5,50	95,00	32,35	78714,00	95,00	78,60	20	2052
EDD FCFS	57	5	0,003311115	1	122	1,263990485	3,51	103,00	5,47	32,00	4,20	2838,00	32,00	30,00	5	332
EDD FCFS	59	5	0,005312933	3	122	1,691037736	5,02	199,00	5,24	108,00	55,60	33746,00	108,00	106,40	5	568
EDD FCFS	99	5	0,008676417	4	92	3,376162791	4,48	317,00	5,37	246,00	99,00	44759,00	246,00	232,80	5	431
EDD FCFS	108	10	0,001647429	4	122	1,282763115	10,51	150,00	5,53	80,00	24,90	30604,00	80,00	64,70	10	1032
EDD FCFS	113	20	0,001070688	4	122	2,442954160	39,09	305,00	5,52	219,00	86,25	208159,00	219,00	177,50	20	2288
EDD FCFS	128	2	0,008401066	4	122	0,934545455	6,61	113,00	5,32	72,00	14,00	3383,00	72,00	58,50	2,00	194,00

Se generaron 86.184 tablas para todas las combinaciones dobles y triples

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA-COMBINACIÓN EDD FCFS

Medidas Estadísticas	AUF	Tiempo computacional	Program Makespan	Program Mean flowtime	Program Maximum Lateness	Program Mean lateness	Program Tardiness	Program Maximum tardiness	Program Mean tardiness	Program Number of tardy projects	Program Number of tardy jobs
Media	1,94	14,99	211,00	5,48	132,71	52,40	54785,21	132,71	121,43	10,29	830,64
Error típico	0,30	3,44	28,48	0,03	28,49	12,39	17998,64	28,49	27,10	1,86	187,30
Mediana	1,39	10,84	186,00	5,51	94,00	37,35	32175,00	94,00	81,73	10,00	546,00
Moda	1,26	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	10,00	#N/A
Desviación estándar	1,12	12,87	106,57	0,12	106,58	46,35	67344,74	106,58	101,41	6,94	700,81
Varianza de la muestra	1,26	165,53	11358,00	0,01	11359,60	2148,33	4535314197,72	11359,60	10284,13	48,22	491136,25
Curtosis	-1,31	-0,89	1,89	1,10	0,74	0,71	1,95	0,74	1,24	-1,31	0,11
Coefficiente de asimetría	0,65	0,74	1,33	-0,30	1,04	0,99	1,67	1,04	1,18	0,52	1,16
Rango	3,10	37,45	379,00	0,48	378,00	160,00	207126,00	378,00	363,50	18,00	2094,00
Mínimo	0,59	1,64	103,00	5,24	6,00	1,80	1033,00	6,00	5,60	2,00	194,00
Máximo	3,69	39,09	482,00	5,72	384,00	161,80	208159,00	384,00	369,10	20,00	2288,00
Suma	27,21	209,84	2954,00	76,74	1858,00	733,60	766993,00	1858,00	1699,95	144,00	11629,00
Cuenta	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00	14,00
Mayor (1)	3,69	39,09	482,00	5,72	384,00	161,80	208159,00	384,00	369,10	20,00	2288,00
Menor(1)	0,59	1,64	103,00	5,24	6,00	1,80	1033,00	6,00	5,60	2,00	194,00
Nivel de confianza(95,0%)	0,65	7,43	61,53	0,07	61,54	26,76	38883,70	61,54	58,55	4,01	404,64

Se generaron 86.184 tablas para todas las combinaciones dobles y triples

ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA MAKESPAN - COMBINACIÓN EDD FCFS

Medidas Estadísticas	Program Makespan
Media	211,00
Error típico	28,48
Mediana	186,00
Moda	#N/A
Desviación estándar	106,57
Varianza de la muestra	11358,00
Curtosis	1,89
Coficiente de asimetría	1,33
Rango	379,00
Mínimo	103,00
Máximo	482,00
Suma	2954,00
Cuenta	14,00
Mayor (1)	482,00
Menor(1)	103,00
Nivel de confianza(95,0%)	61,53

CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS PARA LAS REGLAS DE PRIORIDAD INDIVIDUALES Y TODAS LAS COMBINACIONES

MÉTODO	AUF	TIEMPO COMPUTACIONAL	PROGRAM MAKESPAN	PROGRAM MEAN FLOWTIME	PROGRAM MAXIMUM LATENESS	PROGRAM MEAN LATENESS	PROGRAM TARDINESS	PROGRAM MAXIMUM TARDINESS	PROGRAM MEAN TARDINESS	PROGRAM NUMBER OF TARDY PROJECTS	PROGRAM NUMBER OF TARDY JOBS
FCFS	1,795347236	19,87	209,14	5,32	122,71	31,18	1056,86	122,71	95,76	10,29	578,36
LALP	1,795347236	19,59	210,43	5,32	126,79	30,43	1032,43	126,79	93,35	10,29	578,57
EDD	1,795347236	21,12	203,86	5,32	108,36	29,70	1068,43	108,36	95,03	10,21	582,50
LCFS	1,795347236	20,83	215,00	5,32	127,21	30,69	1036,93	127,21	94,64	10,29	584,36
MAXSLK	1,795347236	18,52	215,07	5,32	128,93	31,78	1034,86	128,93	95,51	10,29	587,29
MAXSLK EDD	1,903812844	12,40	216,57	5,48	134,50	54,08	56189,50	134,50	116,41	10,29	820,29
MAXSLK EDD FCFS	1,903812844	10,52	216,86	5,48	130,93	54,05	55627,71	130,93	116,69	10,29	823,14
LCFS EDD FCFS	1,903812844	10,79	210,43	5,48	133,50	52,81	54832,43	133,50	120,95	10,29	823,71
FCFS EDD LALP	1,903812844	16,43	208,21	5,48	146,93	52,73	55002,57	146,93	123,98	10,29	827,43
EDD FCFS LALP	1,903812844	12,91	208,00	5,48	134,29	52,34	54791,57	134,29	120,69	10,29	829,21
FCFS EDD	1,903812844	14,59	211,00	5,48	144,57	52,73	55116,50	144,57	123,81	10,29	829,21
LALP EDD FCFS	1,903812844	12,01	208,86	5,48	136,57	52,79	55250,14	136,57	118,80	10,29	829,29
EDD FCFS	1,903812844	14,99	211,00	5,48	132,71	52,40	54785,21	132,71	121,43	10,29	830,64
LALP EDD	1,903812844	13,76	208,36	5,48	146,86	52,61	54620,00	146,86	123,71	10,29	831,21
LCFS EDD	1,903812844	14,03	210,36	5,48	145,07	52,40	54722,00	145,07	124,23	10,29	833,43

Esta es una fracción de la tabla completa que contiene todas las combinaciones dobles y triples y las reglas de prioridad individuales

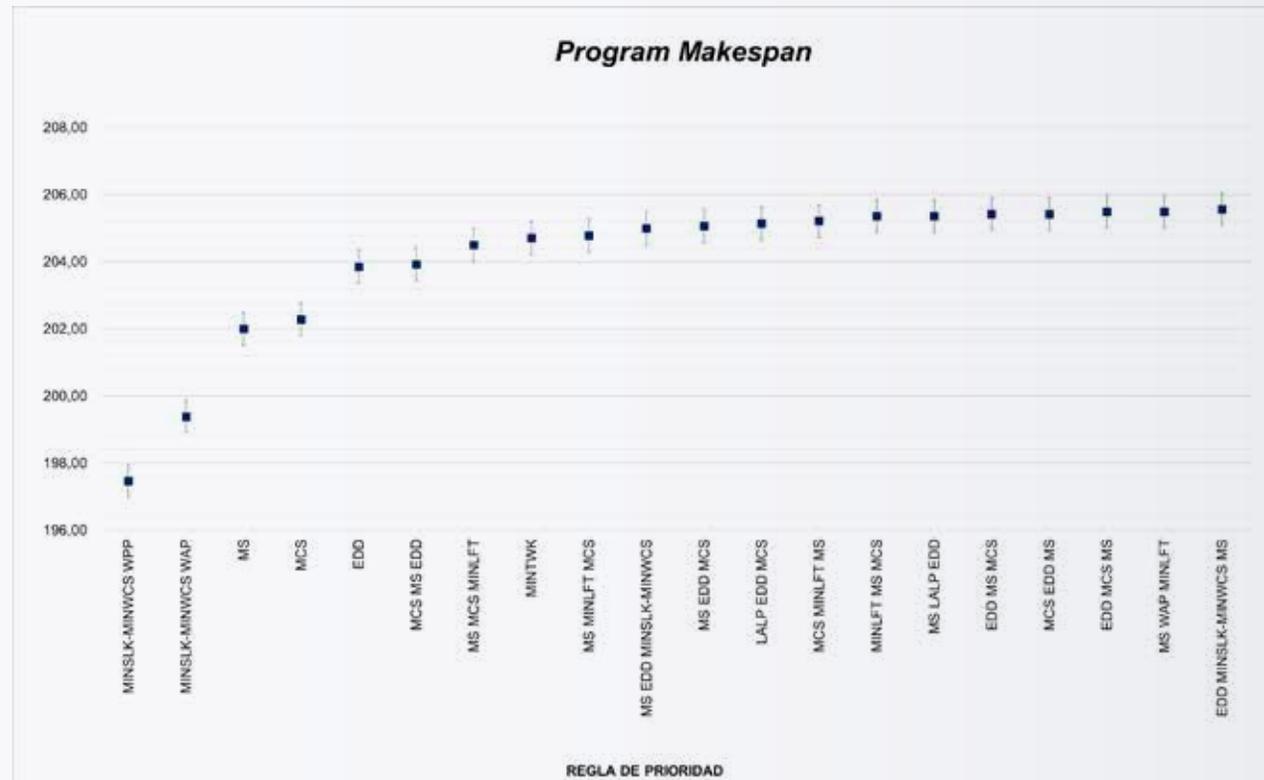
COMBINACIÓN DE 2 Y 3 REGLAS DE PRIORIDAD COMBINACIONES

Análisis de Medias (ANOM)

El análisis de medias ANOM tiene como objetivo establecer la efectividad de cada regla o combinación de reglas de prioridad en la búsqueda de la minimización de cada medida de desempeño con el fin de determinar las mejores.

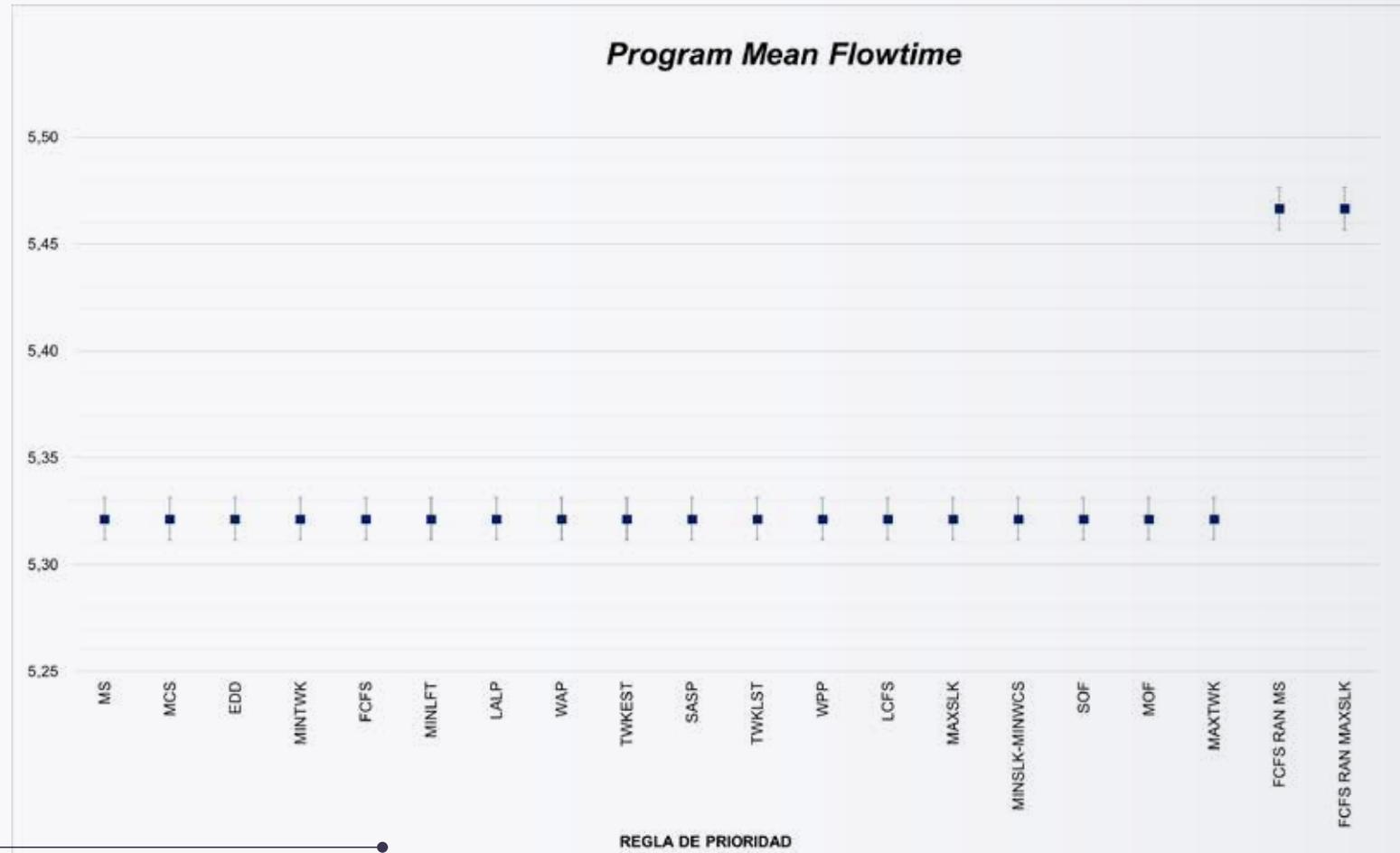
Program Makespan

Objetivo No. 2



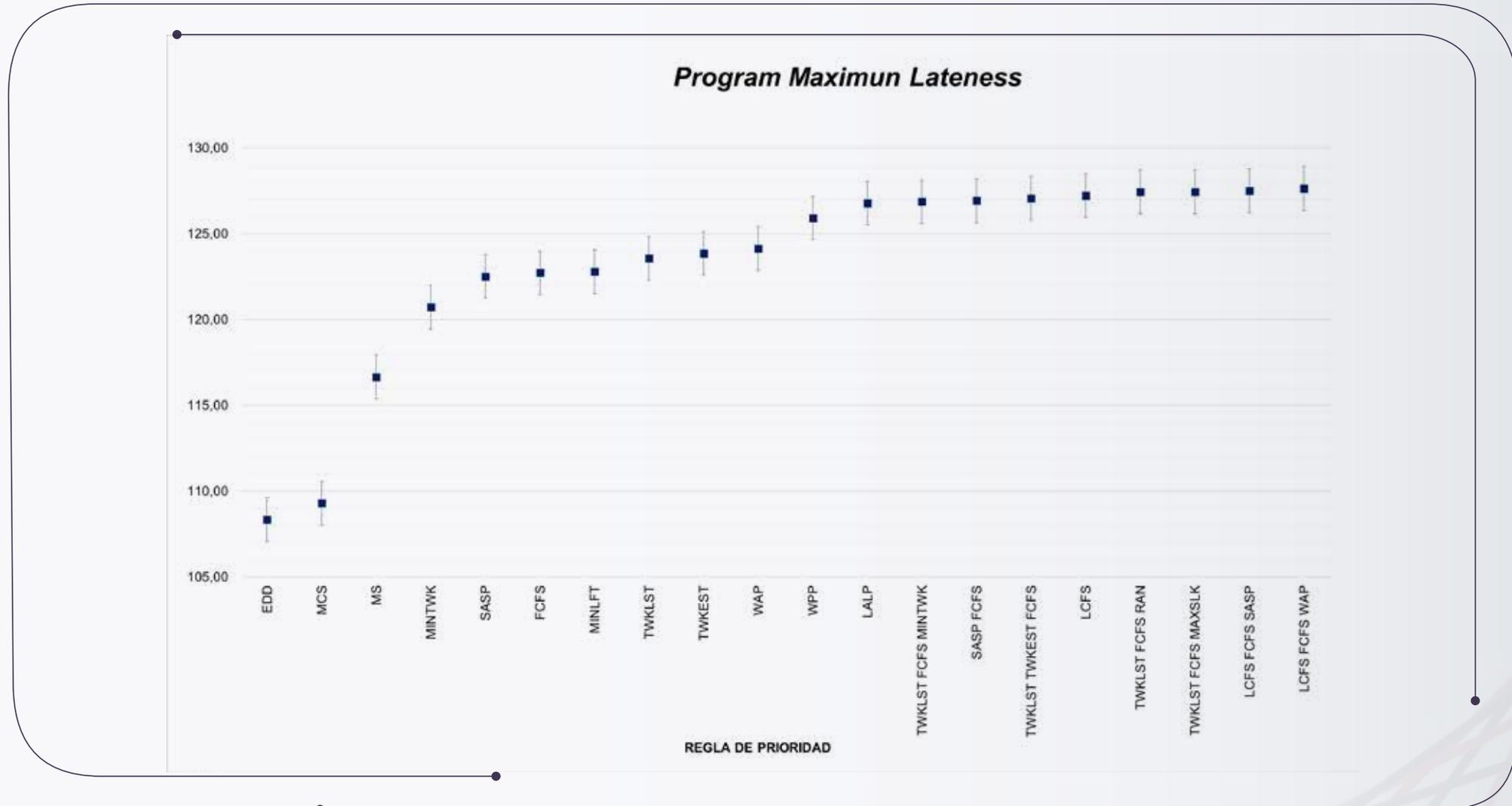
DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

PROGRAM MEAN FLOW TIME

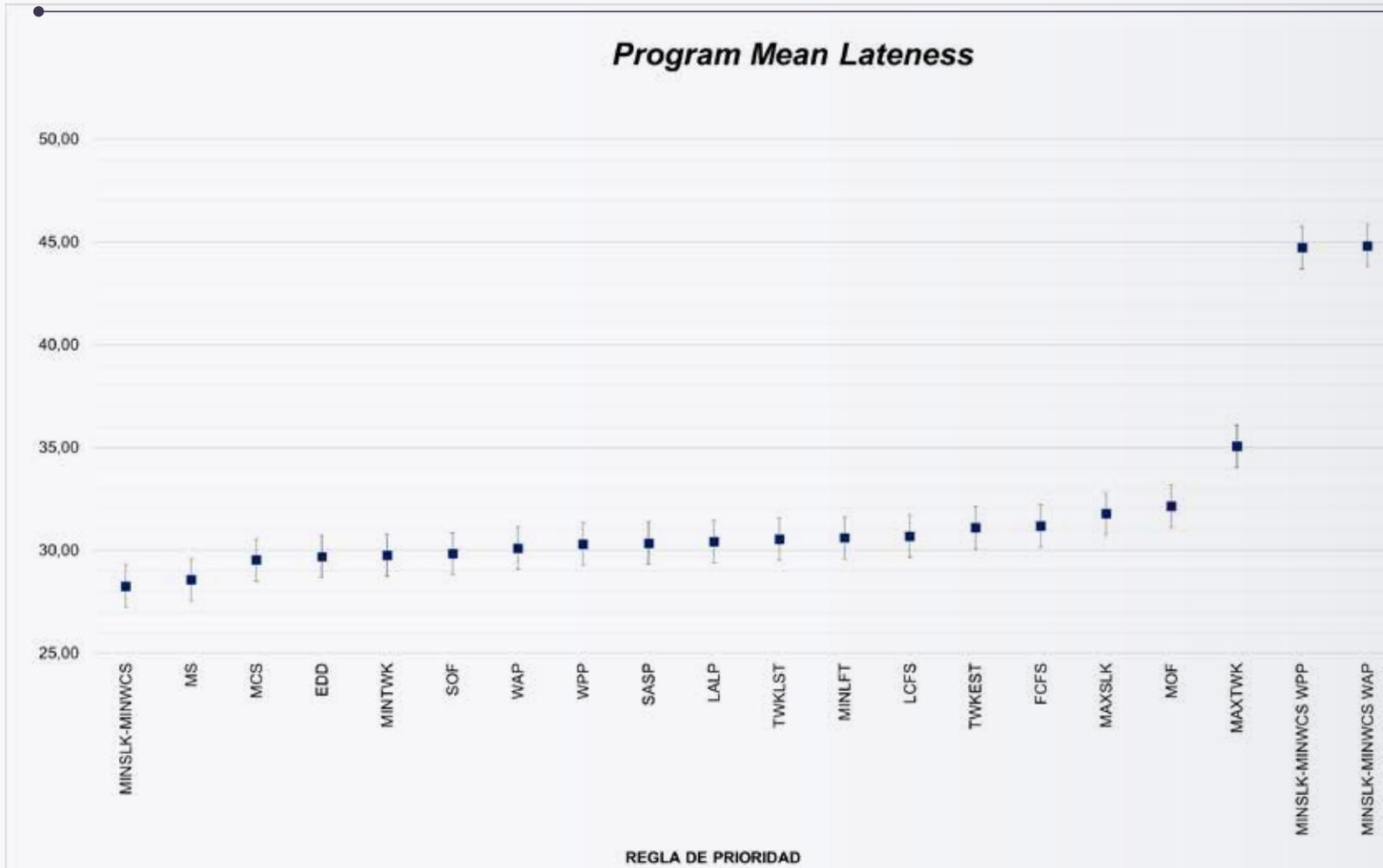


DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

PROGRAM MAXIMUM LATENESS

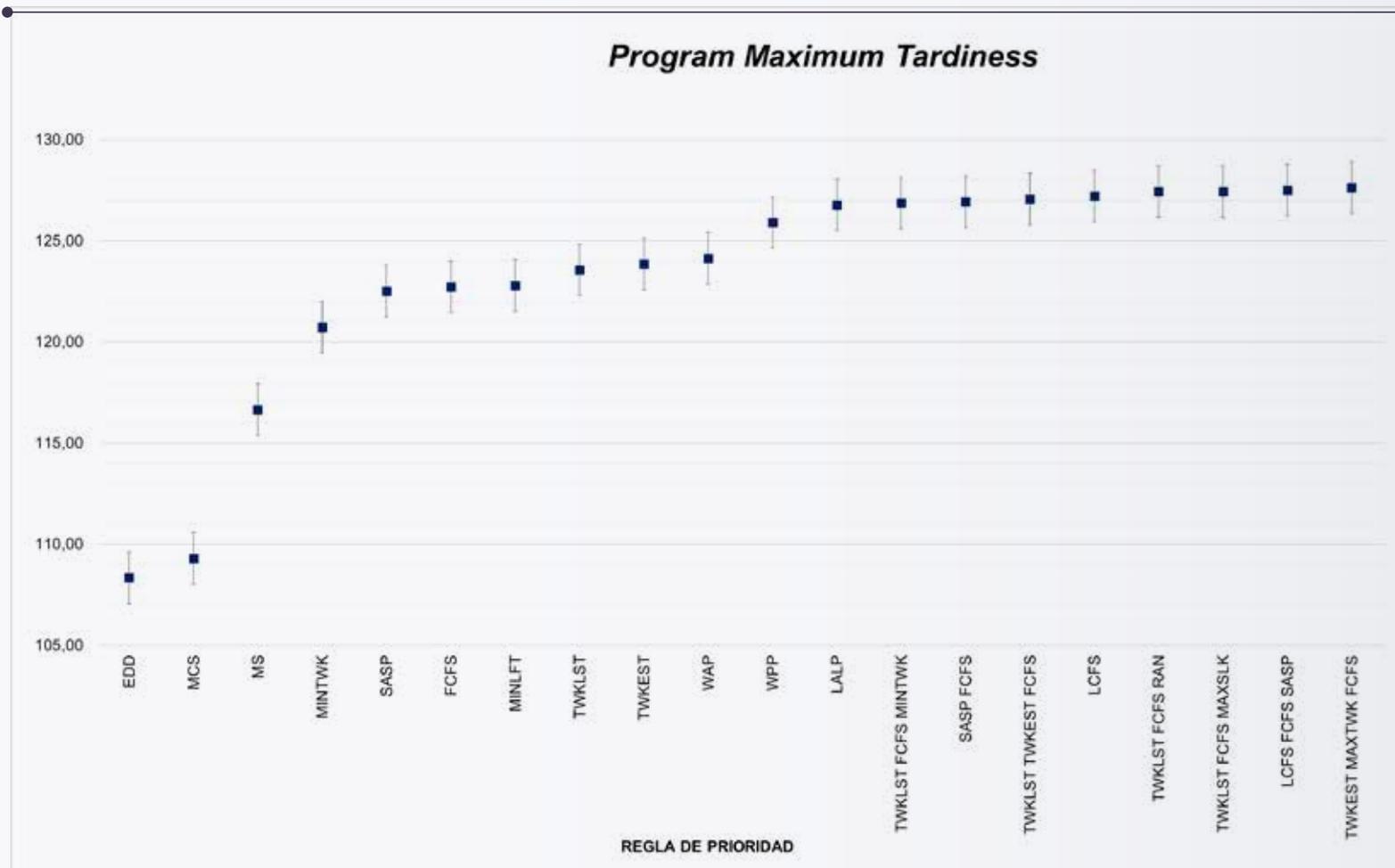


DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS PROGRAM MEAN LATENESS



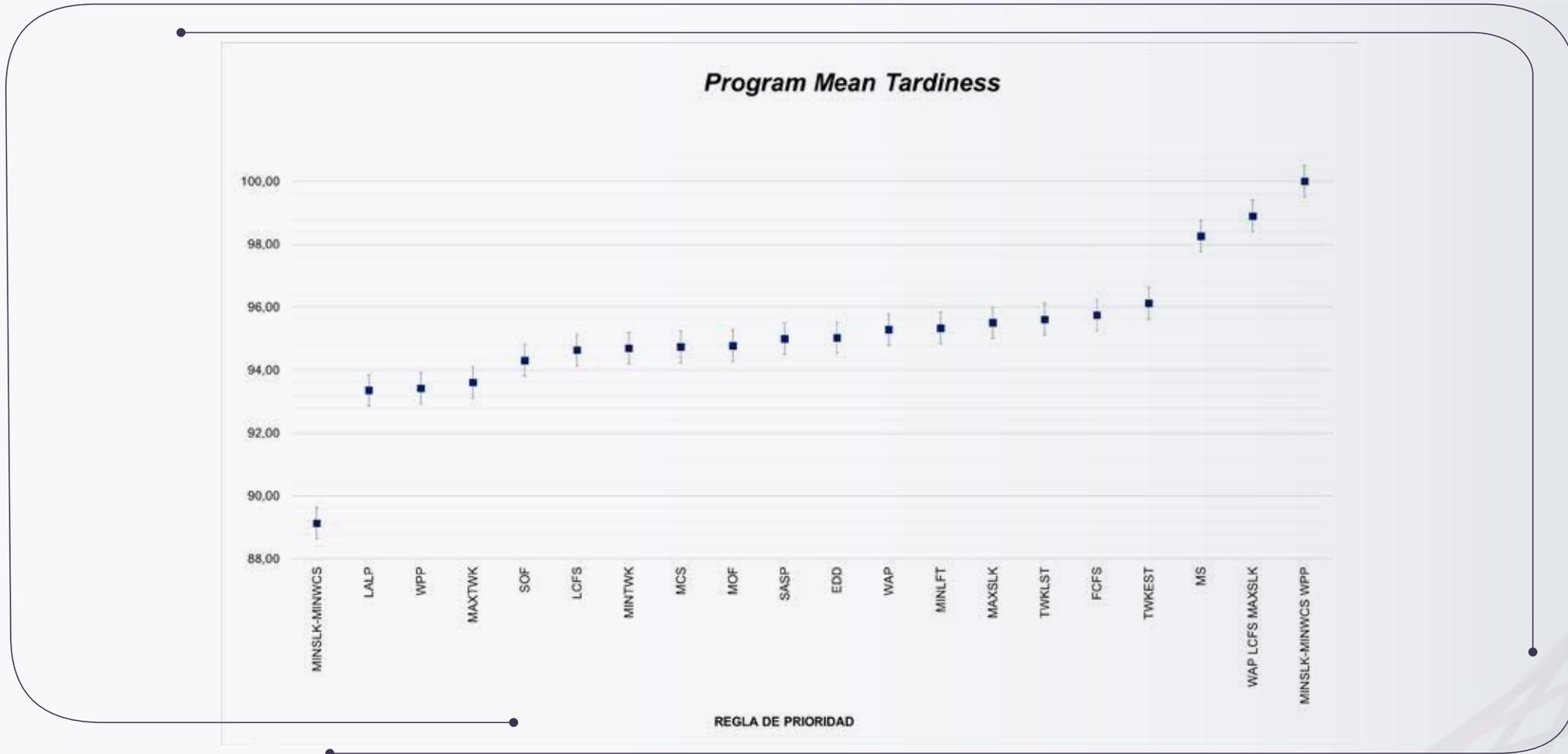
DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

PROGRAM MAXIMUM TARDINESS



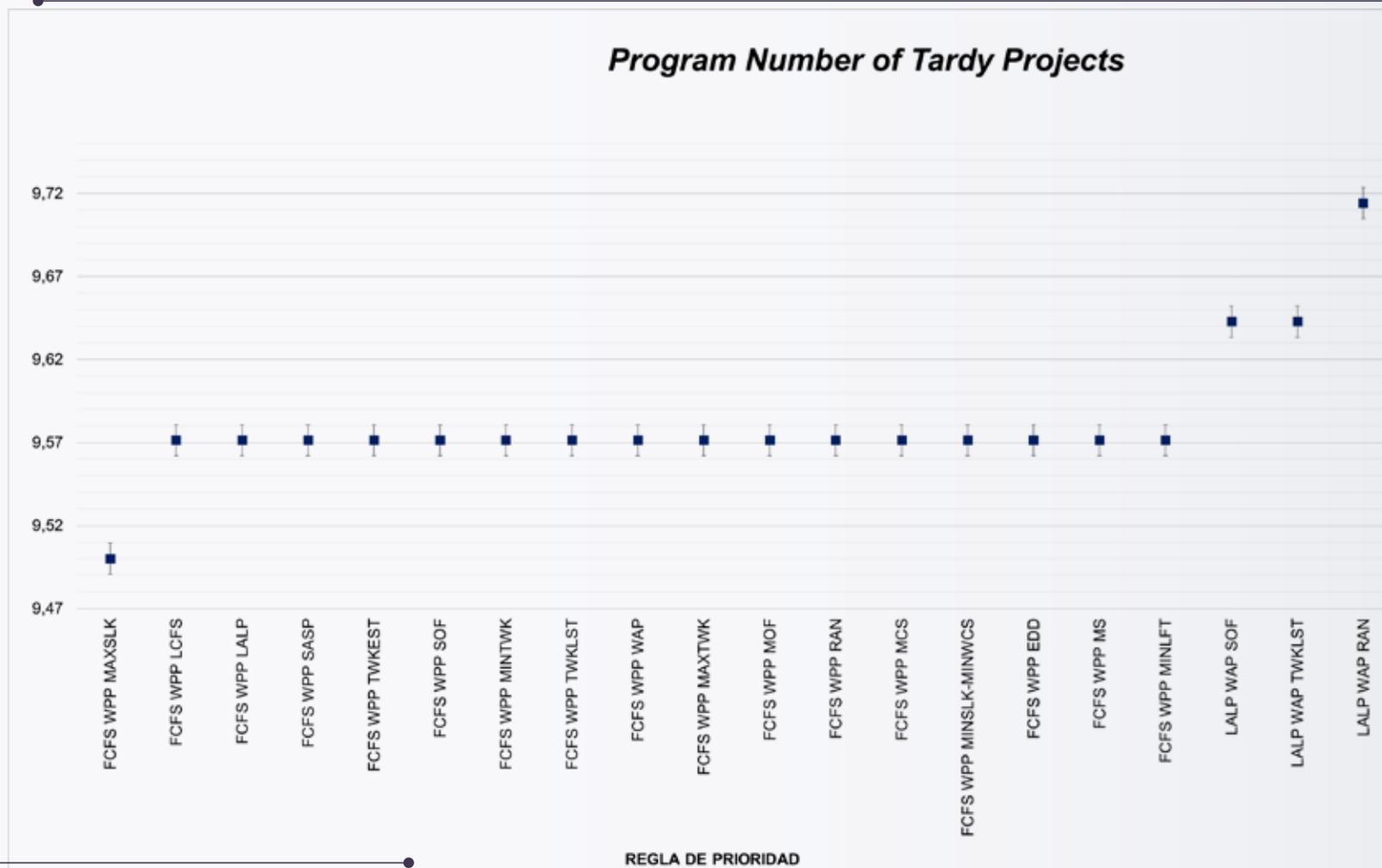
DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

PROGRAM MEAN TARDINESS



DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

PROGRAM NUMBER OF TARDY PROJECTS



DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

PROGRAM NUMBER OF TARDY PROJECTS

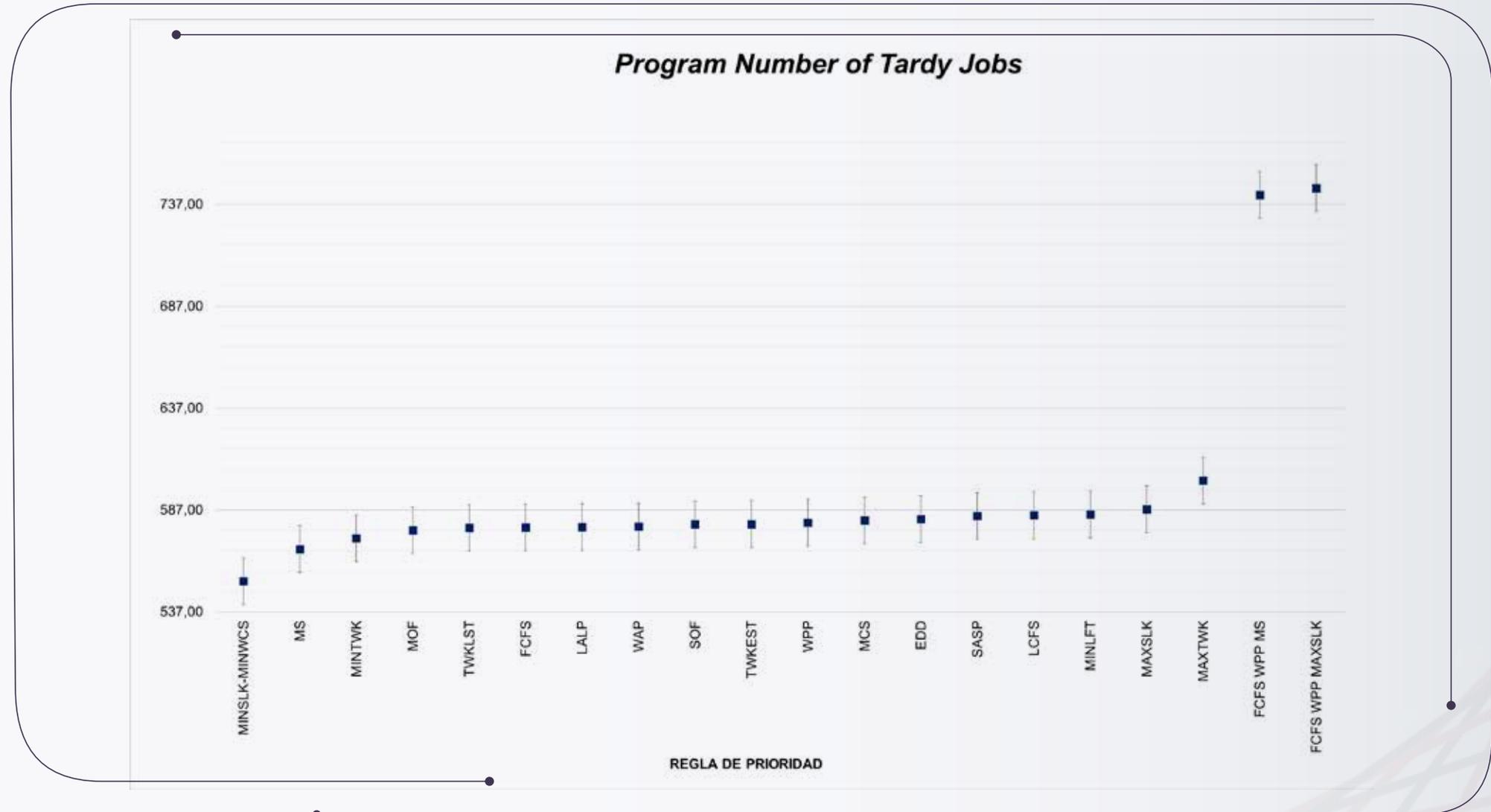
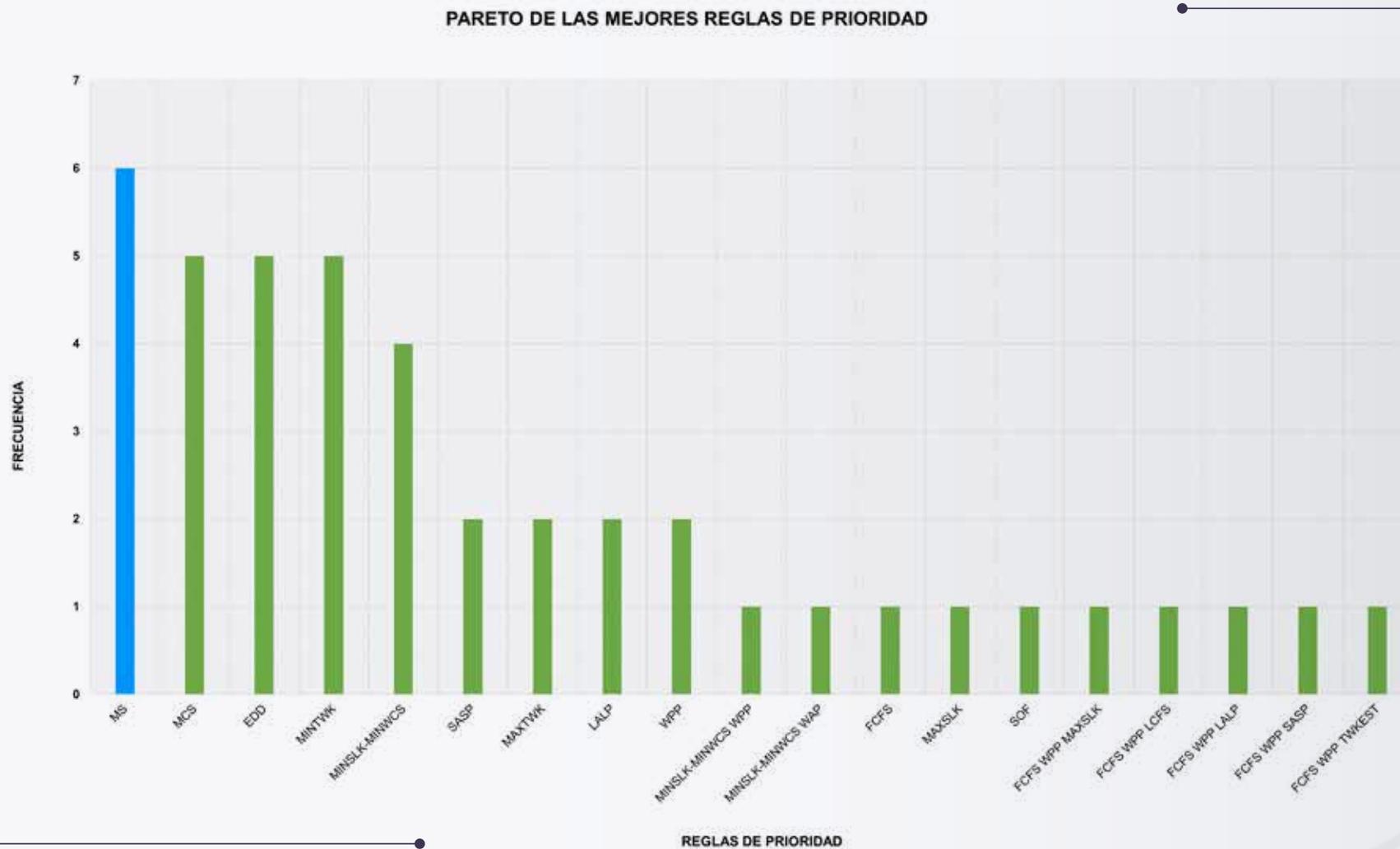


DIAGRAMA DE PARETO DE LAS 5 MEJORES PR POR CADA MEDIDA DE DESEMPEÑO

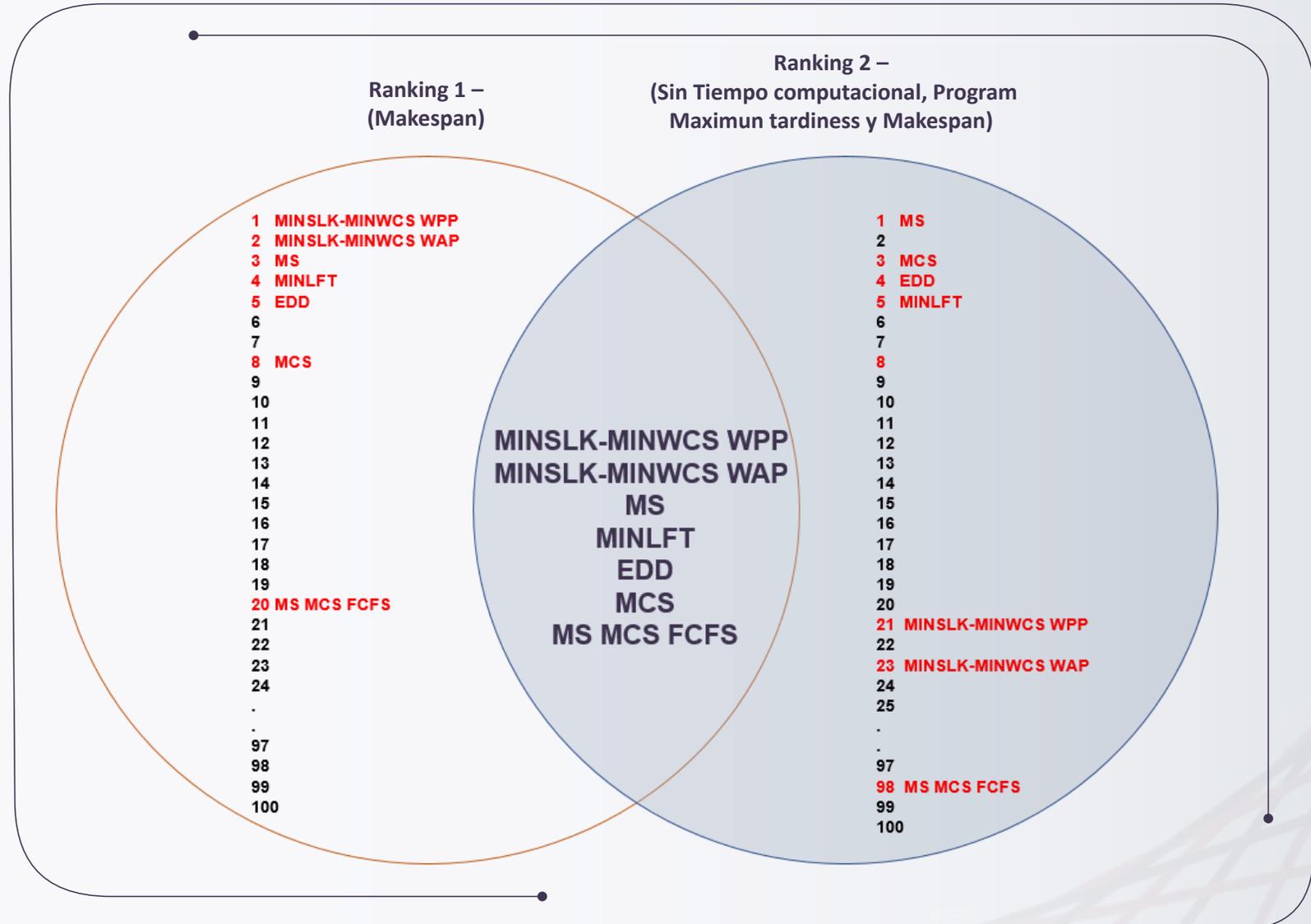


DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

RANKING GLOBAL

100
PRIMEROS
LUGARES

2
RANKINGS



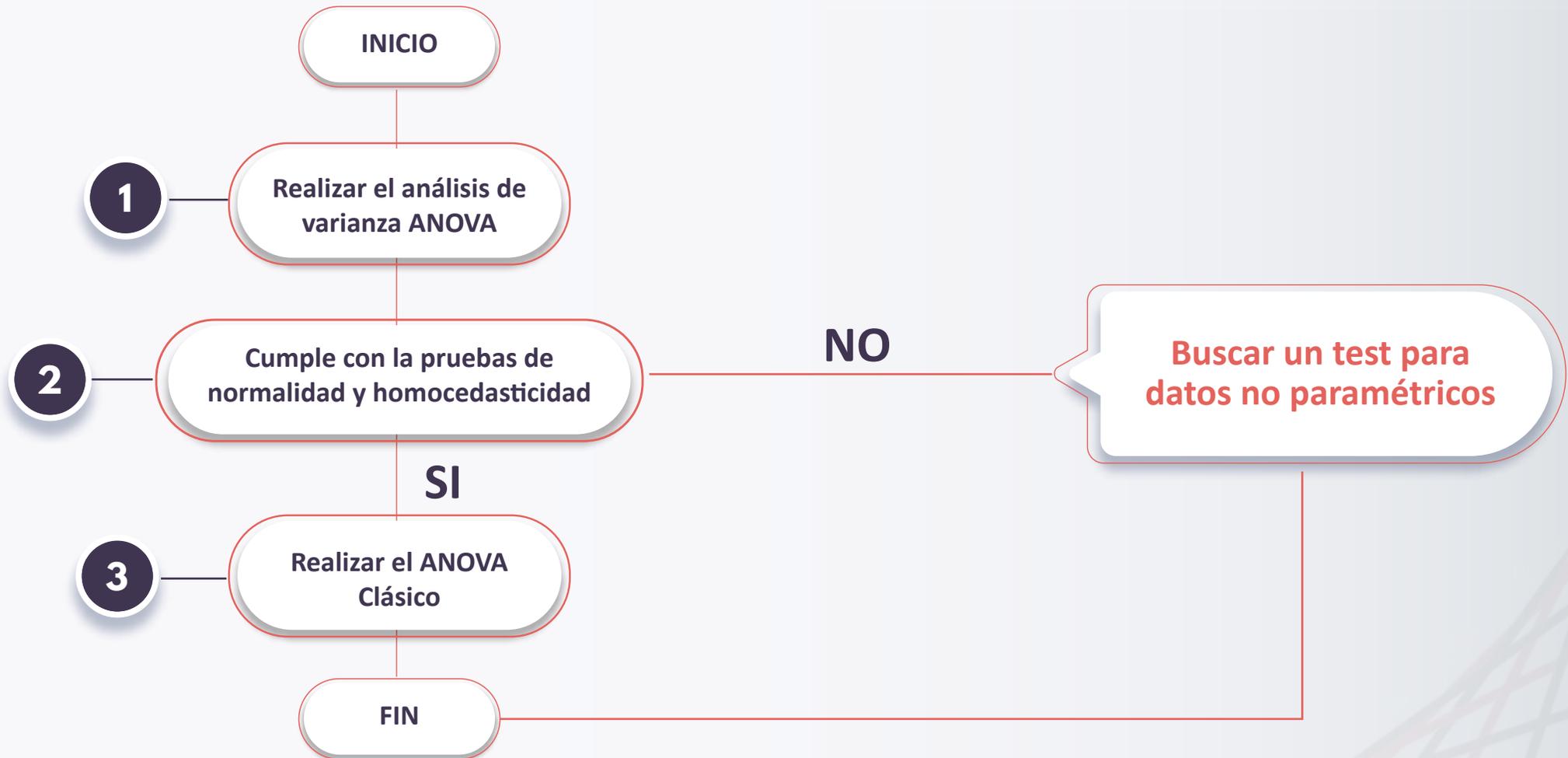
DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS

Resultados de las repeticiones de las mejores reglas o combinaciones

RESULTADOS DE REPETICIONES PARA LA COMBINACIÓN MS MCS FCFS

MÉTODO	INSTANCIA	AUF	TIEMPO COMPUTACIONAL	PROGRAM MAKESPAN	PROGRAM MEAN FLOWTIME	PROGRAM MAXIMUM LATENESS	PROGRAM MEAN LATENESS	PROGRAM TARDINESS	PROGRAM MAXIMUM TARDINESS	PROGRAM MEAN TARDINESS	PROGRAM NUMBER OF TARDY PROJECTS	PROGRAM NUMBER OF TARDY JOBS
3 MS MCS FCFS 1	3	3,69356261	6,553	248	5,71666667	201	90,2	27181	201	187,3	10	284
3 MS MCS FCFS 2	3	3,69356261	5,687	243	5,71666667	197	86,1	25948	197	185,4	10	277
3 MS MCS FCFS 3	3	3,69356261	4,875	242	5,71666667	196	85,4	25823	196	183,8	10	288
3 MS MCS FCFS 30	3	3,69356261	4,812	244	5,71666667	193	86,7	26121	193	184,5	10	282
12 MS MCS FCFS 1	12	3,648533951	10,109	280	5,43333333	241	85,7	51672	241	211,05	20	530
12 MS MCS FCFS 2	12	3,648533951	10,141	279	5,43333333	237	86	51866	237	204,35	20	527
12 MS MCS FCFS 3	12	3,648533951	10,313	271	5,43333333	228	84,3	50888	228	207,1	20	524
12 MS MCS FCFS 4	12	3,648533951	11,188	274	5,43333333	231	85,95	51818	231	210,6	20	515
12 MS MCS FCFS 5	12	3,648533951	11,828	275	5,43333333	232	84,85	51225	232	209,3	20	527

Se generaron en total 2.940 resultados



PASO 1

Cargue de la información en el Software IBM SPSS

Diagrama de Cajas y Bigotes

PASO 2**PASO 3**

Resumen prueba de hipótesis

Comparaciones entre parejas

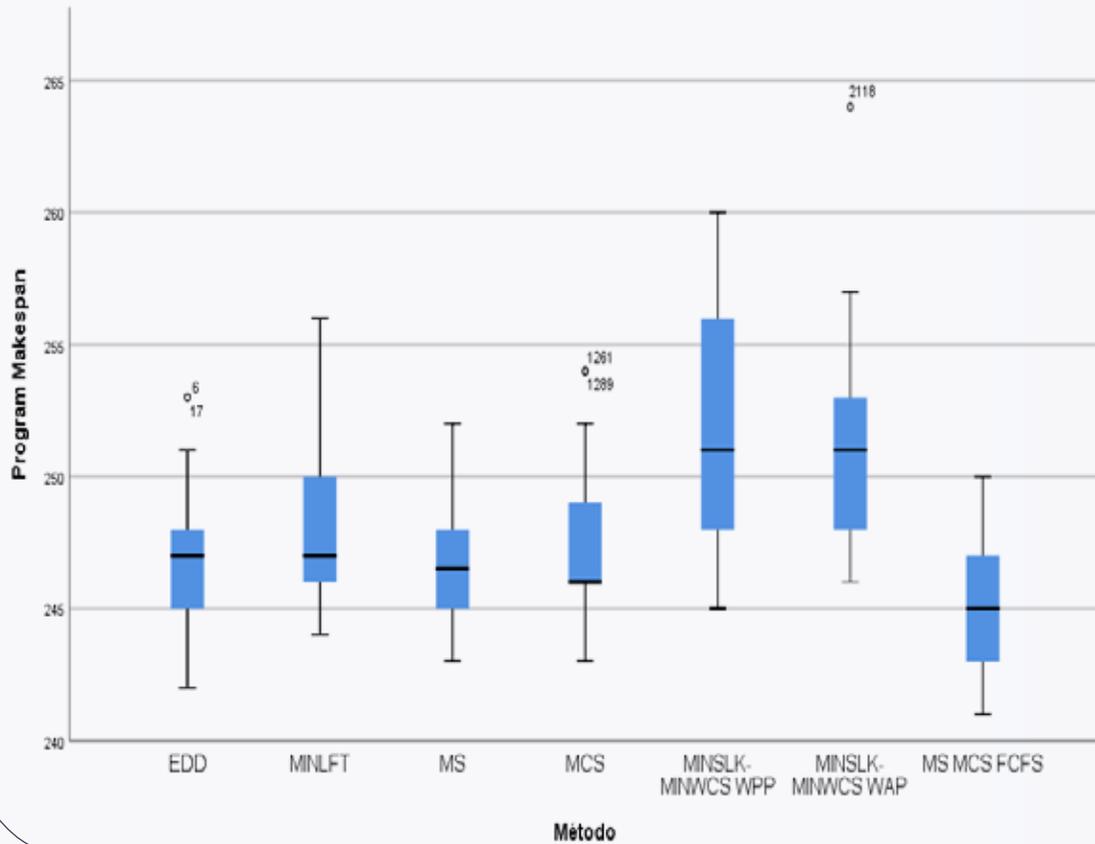
PASO 4**PASO 5**

Selección de las mejores PR

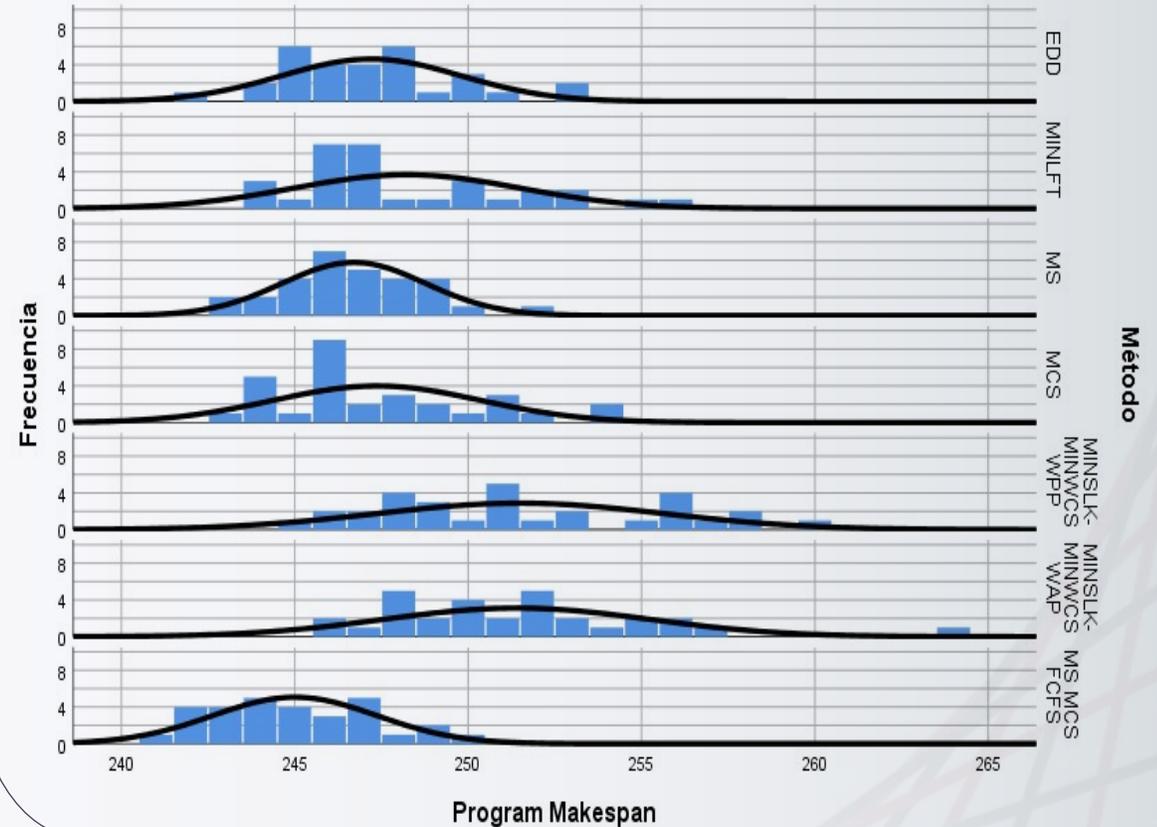
ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS MEJORES REGLAS O COMBINACIONES.



Diagrama de Caja y Bigotes Instancia No. 3



Histograma de distribución de datos Instancia 3



ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS MEJORES REGLAS O COMBINACIONES.

Título: Resumen de Prueba de Hipótesis

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
3	Las medianas de Program Makespan son las mismas entre las categorías de Método.	Prueba de la mediana para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.
4	La distribución de Program Makespan es la misma entre las categorías de Método.	Prueba de Kruskal-Wallis para muestras independientes	,000	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de ,05.

COMPARACIONES ENTRE PAREJAS DE MÉTODO PARA LA INSTANCIA NO. 3

Muestra 1-Muestra 2	Estadístico de contraste	Error Error	Desv. Estadístico de contraste	Sig.	Sig. ajust.
MS MCS FCFS-MS	32,300	15,613	2,069	,039	,810
MS MCS FCFS-EDD	41,133	15,613	2,635	,008	,177
MS MCS FCFS-MCS	41,317	15,613	2,646	,008	,171
MS MCS FCFS-MINLFT	56,267	15,613	3,604	,000	,007
MS MCS FCFS-MINSLK-MINWCS WPP	102,583	15,613	6,570	,000	,000
MS MCS FCFS-MINSLK-MINWCS WAP	105,567	15,613	6,762	,000	,000
MS-EDD	8,833	15,613	,566	,572	1,000
MS-MCS	-9,017	15,613	-,578	,564	1,000
MS-MINLFT	23,967	15,613	1,535	,125	1,000
MS-MINSLK-MINWCS WPP	-70,203	15,613	-4,502	,000	,000
MS-MINSLK-MINWCS WAP	-73,267	15,613	-4,693	,000	,000
EDD-MCS	-,183	15,613	-,012	,991	1,000
EDD-MINLFT	-15,133	15,613	-,969	,332	1,000
EDD-MINSLK-MINWCS WPP	-61,450	15,613	-3,936	,000	,002
EDD-MINSLK-MINWCS WAP	-64,433	15,613	-4,127	,000	,001
MCS-MINLFT	14,950	15,613	,958	,338	1,000
MCS-MINSLK-MINWCS WPP	-61,267	15,613	-3,924	,000	,002
MCS-MINSLK-MINWCS WAP	-64,250	15,613	-4,115	,000	,001
MINLFT-MINSLK-MINWCS WPP	-46,317	15,613	-2,967	,003	,063
MINLFT-MINSLK-MINWCS WAP	-49,300	15,613	-3,158	,002	,033
MINSLK-MINWCS WPP-MINSLK-MINWCS WAP	-2,983	15,613	-,191	,848	1,000

Comparación por pares:
MS MCS FCFS - MS

$P \leq 0,05$
Existe diferencia significativa

$P \geq 0,05$
No existe diferencia significativa

ANÁLISIS ESTADÍSTICO PARA LAS MEJORES REGLAS O COMBINACIONES.

MEJORES REGLAS DE PRIORIDAD POR INSTANCIA

INSTANCIA	REGLA DE PRIORIDAD
3	MS MCS FCFS, MS, EDD y MCS
12	MS MCS FCFS
24	MS MCS FCFS, MS, EDD y MCS
34	MS MCS FCFS
38	MCS, MINLFT, MS MCS FCFS, MS y MINSLK-MINWCS WAP
45	MS MCS FCFS y MCS
49	MS MCS FCFS, MS y EDD
53	MS MCS FCFS
57	MS MCS FCFS, EDD, MINSLK-MINWCS, MCS
59	MS, EDD
99	MS MCS FCFS, MS, MCS, EDD
108	MS MCS FCFS, MS, MCS, EDD
113	MS MCS FCFS, MCS, MINLFT
128	MS, EDD y MS MCS FCFS.

FRECUENCIA DE LAS MEJORES REGLAS DE PRIORIDAD POR INSTANCIAS.

**MEJORES
REGLAS DE
PRIORIDAD**



MS MCS FCFS

MCS

EDD

MS

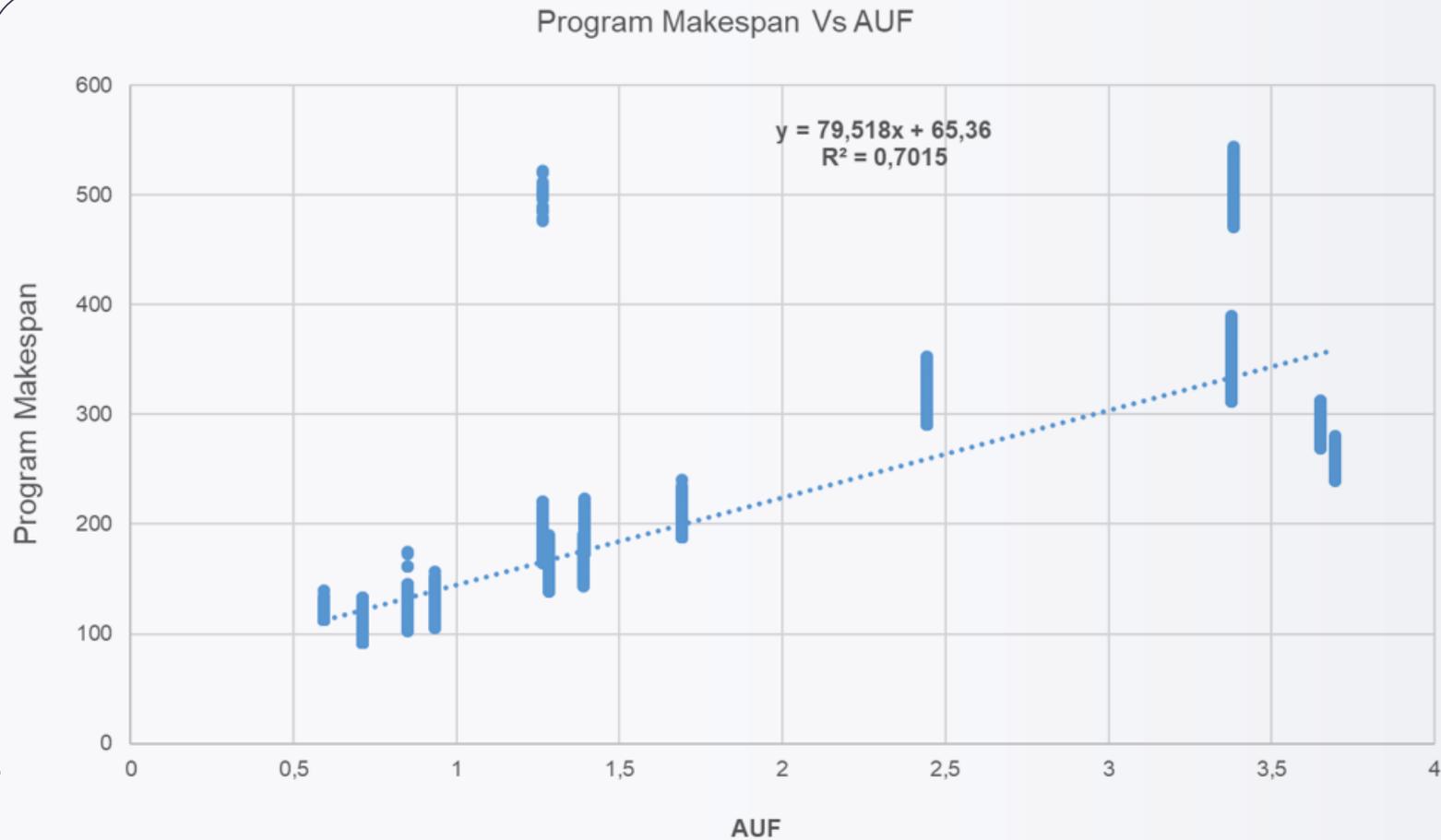
MINLFT

MINSLK-MINWCS WAP

MINSLK-MINWCS WPP

RELACIÓN ENTRE PROGRAM MAKESPAN Y AUF

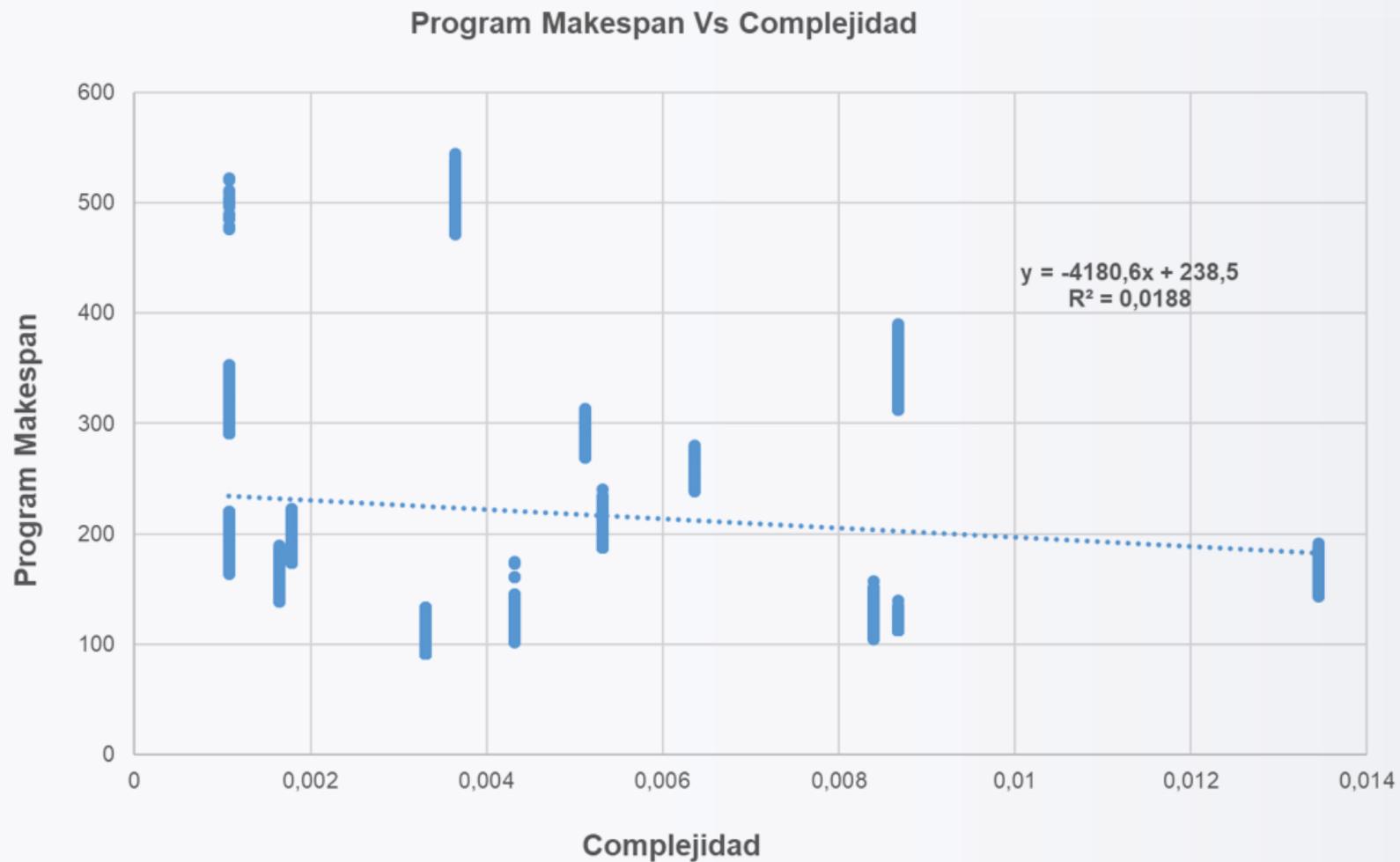
Objetivo No. 3

**Estadísticas de la regresión**

Coefficiente de correlación múltiple	0,83752886
Coefficiente de determinación R^2	0,70145459
R^2 ajustado	0,70145113
Error típico	57,921423
Observaciones	86196

RELACIÓN ENTRE PROGRAM MAKESPAN Y COMPLEJIDAD

Objetivo No. 3



Estadísticas de la regresión

Coefficiente de correlación múltiple	0,105952831
Coefficiente de determinación R ²	0,011226002
R² ajustado	0,011214531
Error típico	45,24548925
Observaciones	86196

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN INSTANCIA DE MAYOR COMPLEJIDAD.

- 3 Proyectos, 20 actividades, 4 tipos de recursos.

Parámetros de la instancia

Size	20		NARLF	AUF	MAUF
Desired Complexity	HHH → .14 = Low .69 = High	Desired:	-3		0.6
% Feedback Deps.	20% → 10% = Low 20% = High	Actual:	-3.01	0.337	0.599
		Diff.:	-0.014		-0.0008
		Variance:	27.8	0.076	0.2492
		Desired Var.:	8	0	0.25

Tipo de Recursos

Resource	Min. Rqd.	# Available	Cost/day (\$k)
A	9	140	\$1.00
B	9	834	\$1.00
C	9	938	\$1.00
D	9	854	\$1.00
E	0	0	\$1.00
F	0	0	\$1.00

Caracterización de los Proyectos

Generation Time:	15	Display Time:	2	Total Time:	17
Total Generations:	3	MAUF failures:	0		

Budget = E[cost] * 1.1		
Project 1	Project 2	Project 3
Cost of delay: 300 (k\$/day)	Cost of delay: 200 (k\$/day)	Cost of delay: 100 (k\$/day)
Budget: 2062.5 (k\$)	Budget: 2818.2 (k\$)	Budget: 2163.7 (k\$)
Priority: 1	Priority: 2	Priority: 3
ARLF: 3.486	ARLF: 0.431	ARLF: 2.397
Desired ARLF:	Desired ARLF:	Desired ARLF:
Average Desired ARLF: #DIV/0!	Variance in Desired ARLFs: #DIV/0!	Actual ARLF: 2.10

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN INSTANCIA DE MAYOR COMPLEJIDAD.

CARACTERIZACIÓN DSMS PROYECTO 1

Objetivo No. 4

Project 1

start acts: 10
 # finish acts: 10
 # deps.: 75

Network Complex: .69

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	T	
1	1																					1
2		1																	1			1
3			1																		1	1
4				1																		1
5					1																	1
6						1																1
7							1															1
8								1														1
9									1													1
10										1												1
11		1	1	1	1		1	1	1													2
12	1	1	1		1	1			1	1												2
13	1	1			1		1	1														2
14	1		1	1	1	1	1	1	1													2
15	1	1	1		1	1		1		1												2
16	1	1	1	1	1		1	1	1	1												2
17	1		1	1		1	1	1		1												2
18	1	1	1	1	1	1	1		1													2
19	1	1	1	1	1				1	1												2
20	1	1	1	1	1	1	1		1	1												2

Resources

	A	B	C	D	E	F
1	5	7	1	4		
2	9	3	2	3		
3	1	8	6	1		
4	6	4	9	3		
5	6	4	7	1		
6	5	4	4	4		
7	6	2	1	3		
8	4	6	3	2		
9	5	4	4	1		
10	3	5	8	1		
11	4	4	1	2		
12	9	2	8	6		
13	3	8	4	3		
14	2	9	5	5		
15	5	7	8	9		
16	7	8	5	4		
17	2	6	9	8		
18	6	9	9	3		
19	4	9	2	8		
20	6	3	6	8		

Duration

	O	ML	P
1		9	
2		7	
3		4	
4		5	
5		2	
6		9	
7		3	
8		1	
9		8	
10		2	
11		1	
12		7	
13		6	
14		1	
15		1	
16		3	
17		8	
18		2	
19		9	
20		6	

	EF	LF	S	Succ
1	9	9	0	9
2	7	9	2	8
3	4	9	5	9
4	5	9	4	7
5	2	9	7	8
6	9	10	1	7
7	3	10	7	6
8	1	10	9	6
9	8	9	1	8
10	2	9	7	7
11	9	18	9	0
12	16	18	2	0
13	15	18	3	0
14	10	18	8	0
15	10	18	8	0
16	12	18	6	0
17	17	18	1	0
18	11	18	7	0
19	18	18	0	0
20	15	18	3	0

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN INSTANCIA DE MAYOR COMPLEJIDAD.

INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

PROJECTS	3				
Project No.	Jobs No.	Weight	Start Date	Due Date	CPD
1	20	1	-1	-1	18
2	20	1	-1	-1	18
3	20	1	-1	-1	17

En la información general del proyecto la instancia se compone de **3 proyectos** con las siguientes propiedades:

Objetivo No. 4

**20 actividades
POR PROYECTO**

se establece el peso específico
(**Weight**) de cada proyecto

con criterios del usuario (**para este caso es 1**)

y fechas de entrada (**Start date**)

y fechas de entrada (**Start date**)

y fecha de entrega (Due date) con su
correspondiente **ruta crítica (CPD)**.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN
INSTANCIA DE MAYOR COMPLEJIDAD.

DESCRIPCIÓN DE LOS RECURSOS CANTIDAD DISPONIBLE

RESOURCES		
Global renewable	4	
RESOURCE AVAILABILITIES		COST
R1	140	1
R2	834	1
R3	938	1
R4	854	1

Se expresan los **recursos globales** de la instancia y cada recurso contiene la **capacidad total** disponible con el costo por uso de cada recurso.

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN INSTANCIA DE MAYOR COMPLEJIDAD.

RELACIONES DE PRECEDENCIA

PRECEDENCE RELATIONS		Successors	
Project	Jobnr.	#Relations	Successors
1	1	10	2;3;4;5;6;7;8;9;10;11
1	2	9	13;14;15;16;17;18;19;20;21
1	3	7	12;15;16;13;18;19;20
1	4	9	12;13;15;16;18;19;20;17;21
1	5	7	12;15;17;18;19;20;21
1	6	8	12;13;15;16;17;19;20;21
1	7	7	13;14;15;16;18;19;21
1	8	6	12;15;17;18;19;21
1	9	6	12;14;15;16;17;18
1	10	8	12;13;14;15;17;19;20;21
1	11	7	13;15;16;17;18;20;21
1	12	0	
1	13	0	
1	14	0	
1	15	0	
1	16	0	
1	17	0	
1	18	0	
1	19	0	
1	20	1	22
1	21	0	
1	22	0	

IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN INSTANCIA DE MAYOR COMPLEJIDAD.

DURACIÓN Y RECURSOS GLOBALES

REQUESTS/DURATIONS							
Project	Jobnr.	Weight	Duration	R 1	R 2	R 3	R 4
1	1	1	0	0	0	0	0
1	2	1	9	5	7	1	4
1	3	1	7	9	3	2	3
1	4	1	4	1	8	6	1
1	5	1	5	6	4	9	3
1	6	1	2	6	4	7	1
1	7	1	9	5	4	4	4
1	8	1	3	6	2	1	3
1	9	1	1	4	6	3	2
1	10	1	8	5	4	4	1
1	11	1	2	3	5	8	1
1	12	1	1	4	4	1	2
1	13	1	7	9	2	8	6
1	14	1	6	3	8	4	3
1	15	1	1	2	9	5	5
1	16	1	1	5	7	8	9
1	17	1	3	7	8	5	4
1	18	1	8	2	6	9	8
1	19	1	2	6	9	9	3
1	20	1	9	4	9	2	8
1	21	1	6	6	3	6	8
1	22	1	0	0	0	0	0

CARACTERÍSTICAS DE LA PLANEACIÓN PROYECTOS

Objetivo No. 5

Plan de Gerencia.

Diagrama por precedencia.

Dependencia.

FS, FF, SS.

Números de Proyectos

5



174 Recursos Locales

Estimación de Recursos

Determinista

Duración de las Actividades

P1: 185
P2 – P5: 154
CPD: 245

Actividades

CARACTERÍSTICAS DEL RCMPSP

Objetivo No. 5



8. CONCLUSIONES.

01

Del Análisis de medias se concluye que las reglas que presentaron mejor desempeño en la mayoría de las medidas evaluadas fueron: MS, MCS y EDD.

02

Se confirmó la superioridad de la regla de prioridad MS (Maximum Successors), siendo individualmente la mejor y haciendo parte de la combinación triple que mejor desempeño presentó en esta investigación: MS MCS FCFS.

03

Las 7 mejores reglas o combinaciones después de este análisis son: **MS MCS FCFS, MCS, EDD, MS, MINLFT, MINSLK-MINWCS WAP, MINSLK-MINWCS WPP.**

04

MINSLK-MINWCS WAP, MINSLK-MINWCS WPP como combinaciones **dobles** y **MS MCS FCFS** como combinación **triple** superan en desempeño a las reglas individuales **MCS, EDD, MS y MINLFT.**

05

Las combinaciones dobles y triples de las reglas de prioridad si mejoran el desempeño de las medidas en tiempo de los multi-proyectos respecto a las reglas individuales.

06

Las reglas de prioridad basadas en actividad son las de mejor desempeño para reducir el tiempo de completamiento de los multi-proyectos (Makespan).

07

Existe una relación positiva entre el tiempo de completamiento de un multi-proyecto (Makespan) y el uso de los recursos (AUF), así como una ausencia de relación con la Complejidad.

08

Este impacto positivo entre el uso de recursos (AUF) y Makespan permite explicar que si aumentan las restricciones de los mismos también aumenta la probabilidad que las actividades se retrasen

09

Se tuvo acceso a un generador de instancias a través del cual se identificó y caracterizó una instancia de complejidad alta, que puede ser utilizada para evaluar métodos de solución al problema RCMPSP.

10

La empresa de la cual se tomó el cronograma que fue caracterizado como instancia, tiene oportunidad de mejora en cuanto a la cultura de gerencia de proyectos ya que no se observó una clara asignación de los recursos en la red de programación.

9. RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

01

- Realizar investigación futura con datos probabilísticos.

02

- Llevar a cabo para los 86.184 datos las respectivas repeticiones.

03

- Realizar diseño experimental con instancias que contenga igual número de proyectos y de actividades.

04

- Del generador desarrollado por (Browning & Yassine, 2010), se recomienda para futuras investigaciones utilizar instancias de complejidad media y alta.

05

Proponer variables externas, del sector de la construcción con el fin de ser aplicadas a RCMPSP.

06

Analizar relación Makespan vs AUF con instancias de mayor complejidad.

07

Definir prioridad a las actividades y proyectos para las PR: WAP y WPP

08

Aplicar el método heurístico propuesto en portafolios reales en diferentes sectores.

09

Comparar los resultados con otras técnicas de optimización como: algoritmos genéticos, otras heurísticas y metaheurísticas.

10. GERENCIA DEL TRABAJO DE GRADO

PROJECT CHARTER

Fecha de emisión: 10 de noviembre de 2017

Se autoriza formalmente el Trabajo de Grado, el cual contará con el apoyo del Director de Proyecto, el equipo de trabajo y la Unidad de Proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito:

Nombre del Proyecto: Análisis de la combinación de metodologías basadas en Reglas de Prioridad (PR) para la solución de problemas de programación de múltiples proyectos con recursos restringidos (RCMPSP).

Sponsor: Ing. Germán Eduardo Giraldo González

Gerente de Proyecto asignado: Ing. María Angélica Ayala Betancourt

Descripción del Proyecto: El trabajo de grado consiste en el análisis de metodologías de reglas de prioridad que permiten dar solución al problema de programación de múltiples Proyectos con recursos restringidos (RCMPSP), con el fin de aportar al desarrollo de la gerencia de proyectos en el área de conocimiento de gestión de tiempo y a la línea de investigación secuenciación de proyectos de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito.

Propósito: Contribuir al aumento de la probabilidad de éxito de la gerencia de proyectos, mediante la mejora de las medidas de desempeño en cuanto a tiempo y costo, a través del de la identificación y análisis de metodologías para la programación de múltiples proyectos con recursos restringidos, que sean aplicables a situaciones reales del entorno productivo colombiano.

Justificación: El cronograma es probablemente el documento de mayor importancia y con mayor influencia en el éxito de los proyectos (Lipke, 2008), y teniendo en cuenta que mediante este se hace comprensible el proyecto a todo el equipo de trabajo y se ajusta con exactitud a la realidad de la ejecución del mismo, es pertinente minimizar los riesgos de desviaciones en tiempo, buscando una asignación y gestión de recursos apropiada.

De esta manera, la parte más importante de una programación es la asignación de recursos y la armonización de su trabajo para reducir al mínimo la duración. No obstante, a la hora de planear el cronograma se suelen desconocer algunos factores ambientales en los cuales se desarrollan los proyectos, uno de ellos es el caso de los ambientes multi-proyecto en donde estos se desarrollan simultáneamente y deben compartir algunos recursos.

Estos problemas han sido definidos en el campo de la investigación de operaciones como Problemas de Programación de Múltiples Proyectos con Recursos Restringidos (*Resource Constrained Multi-project Scheduling Problem* RCMPSP).

Debido a que la esencia de RCMPSP se basa en la mejora de los métodos heurísticos a través de las reglas de prioridad existentes, este trabajo busca aportar modelos de análisis y solución a dicho problema a través de la combinación de metodologías basadas en Reglas de Prioridad (PR).

Nivel de autoridad del Gerente del Proyecto: El Gerente de Proyecto tendrá la autoridad de designar al *staff* del proyecto para organizar el trabajo del mismo.

Gestión de Presupuesto: El Gerente de Proyecto deberá tener autorización por parte de los miembros del equipo de trabajo y del *sponsor* para asignar recursos de presupuesto a cualquier nivel del proyecto.

Decisiones Técnicas: El Gerente del Proyecto tendrá la autoridad de tomar decisiones en aspectos técnicos del proyecto siempre y cuando estos no cambien el alcance del mismo.

Criterios de éxito

Se aceptará el trabajo de grado como exitoso siempre y cuando:

- Sea aprobado por el director y el comité de trabajos de grado.
- El documento definitivo se entregue el 03 de agosto de 2018.
- El costo del trabajo de grado no supere los COP \$ 68.344.540.

Como constancia de aprobación, se firma este documento el 10 de noviembre de 2017.

Ing. German Eduardo Giraldo González
Sponsor

Ing. María Angélica Ayala B
Gerente del Proyecto

Autorización formal inicio del proyecto.

Propósito: Contribuir al aumento de la probabilidad de éxito de la gerencia de proyectos, mediante la mejora de las medidas de desempeño en cuanto a tiempo y costo.

Justificación: La parte más importante de una programación es la asignación de recursos y la armonización de su trabajo para reducir al mínimo la duración.

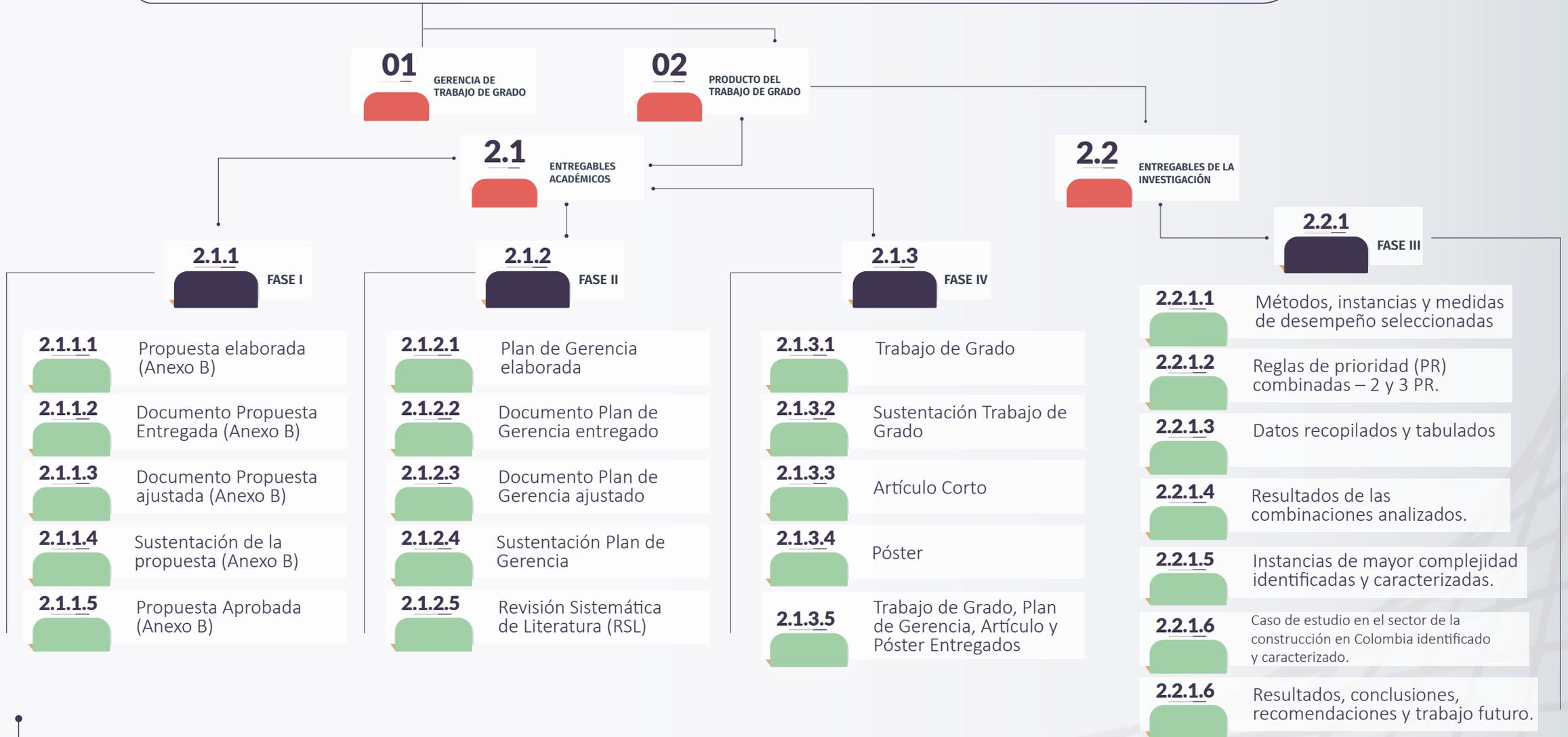
Nivel de Autoridad y Gestión del Presupuesto: Mediante la autorización del Gerente del Proyecto, Ing. María Angélica Ayala Betancourt.

Gerente de Proyecto: Ing. María Angélica Ayala Betancourt.
Sponsor: Ing. Germán Eduardo Giraldo González
Fecha: 10 de Noviembre de 2017

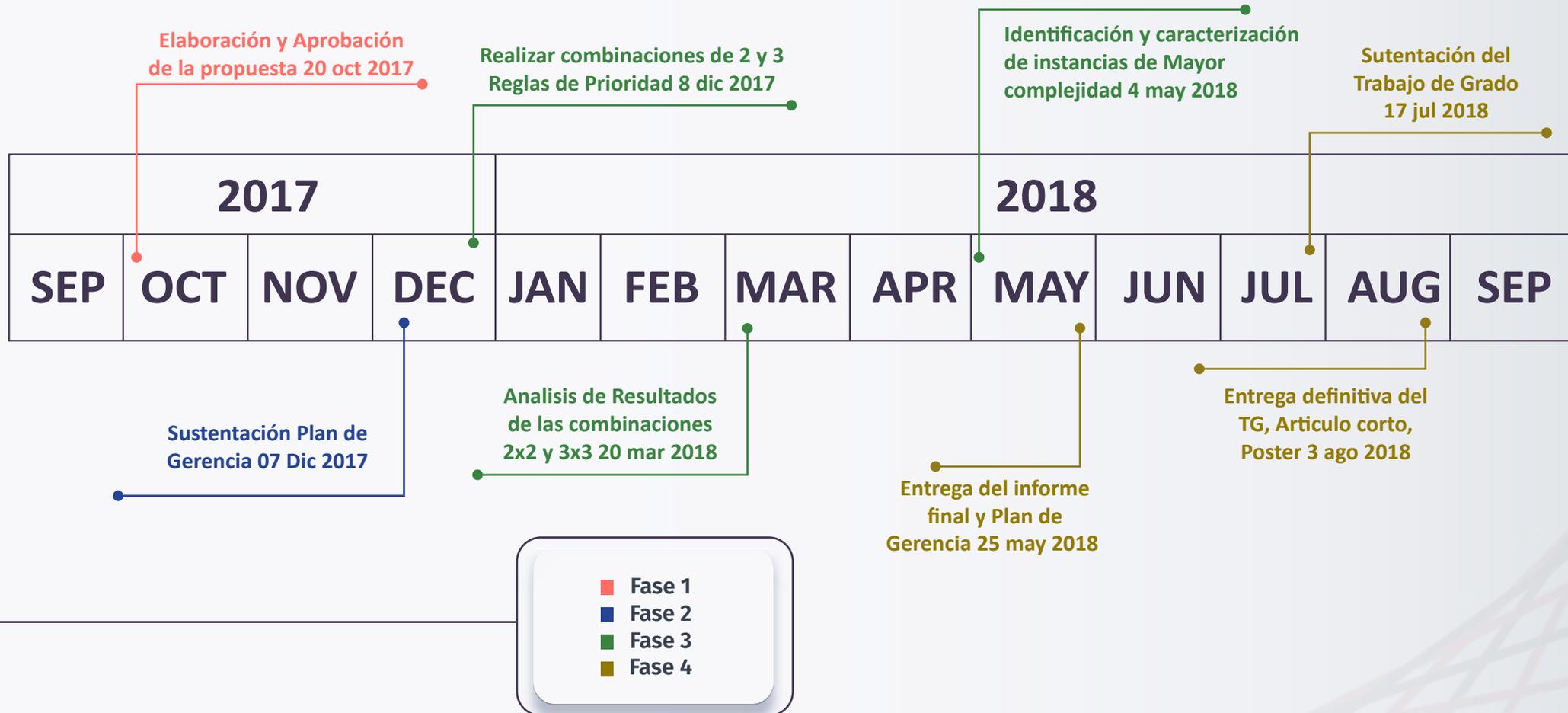
IDENTIFICACIÓN STAKEHOLDERS



Análisis de la combinación de metodologías basadas en Reglas de Prioridad (PR) para la solución de problemas de programación de múltiples proyectos con recursos restringidos (RCMPSP)



LÍNEA BASE DE TIEMPO



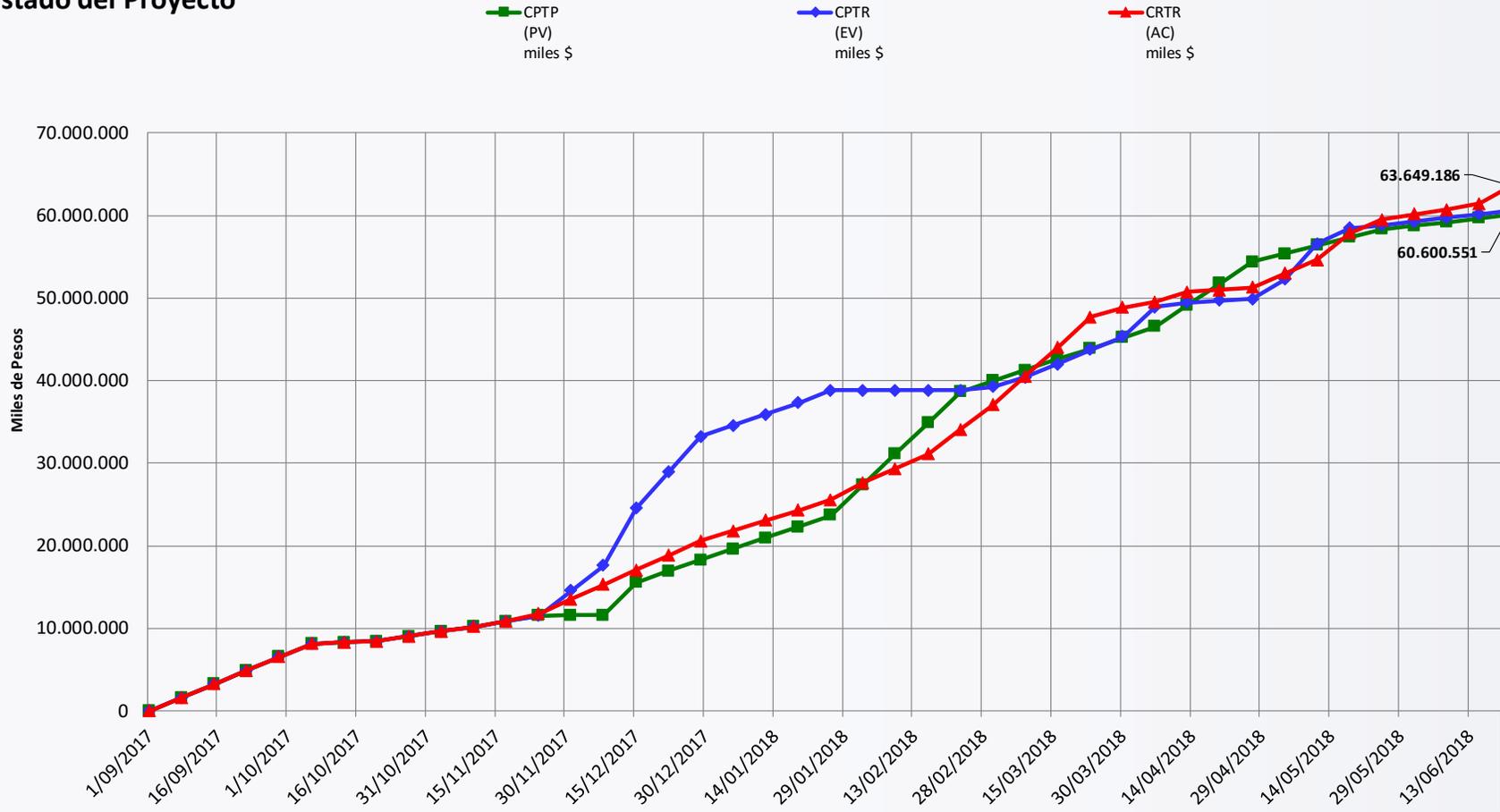
GERENCIA DE PROYECTO



INDICADORES DE GESTIÓN

Estado del Proyecto

Estado del Proyecto



PV	96,73%
EV	97,54%
AC	102,44%

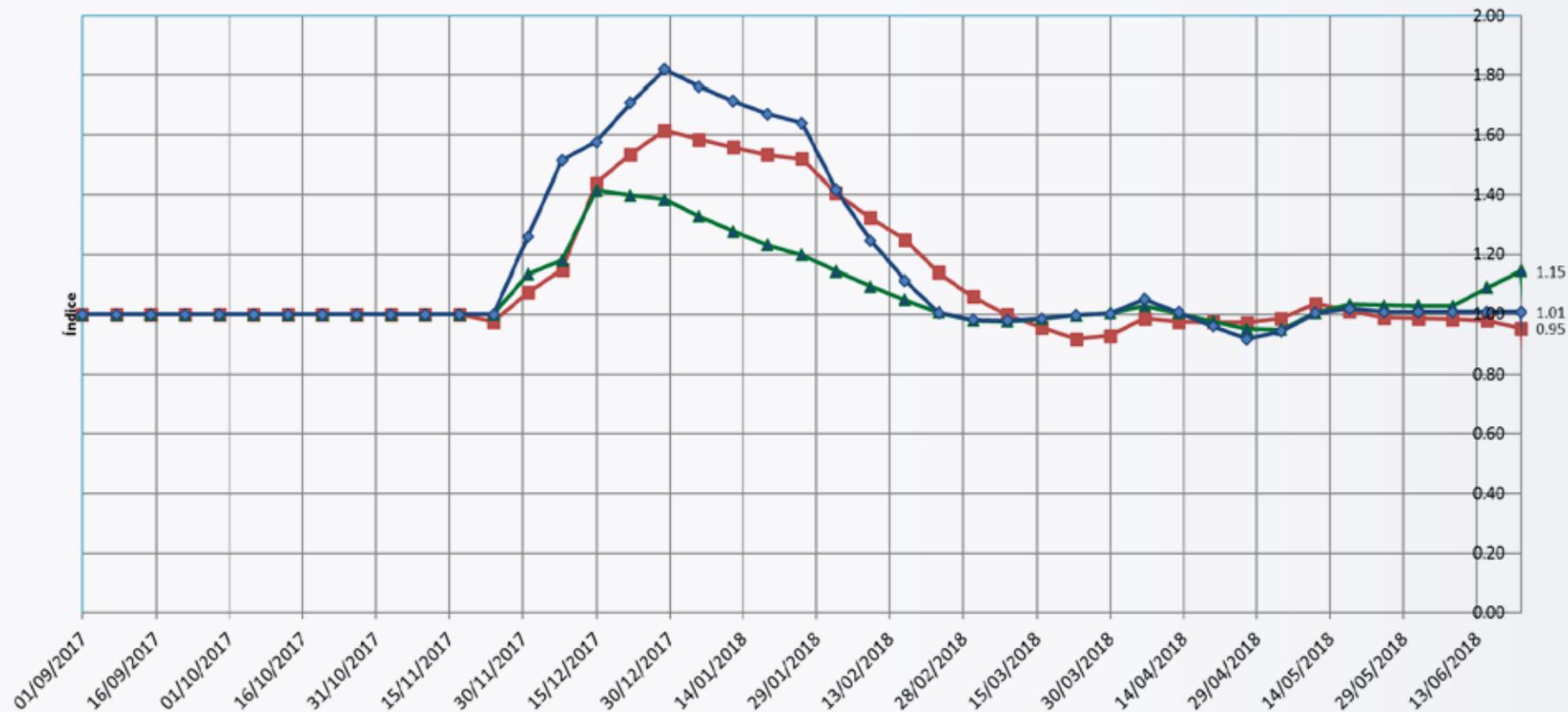
Fecha de corte: 22/06/2018

INDICADORES DE GESTIÓN

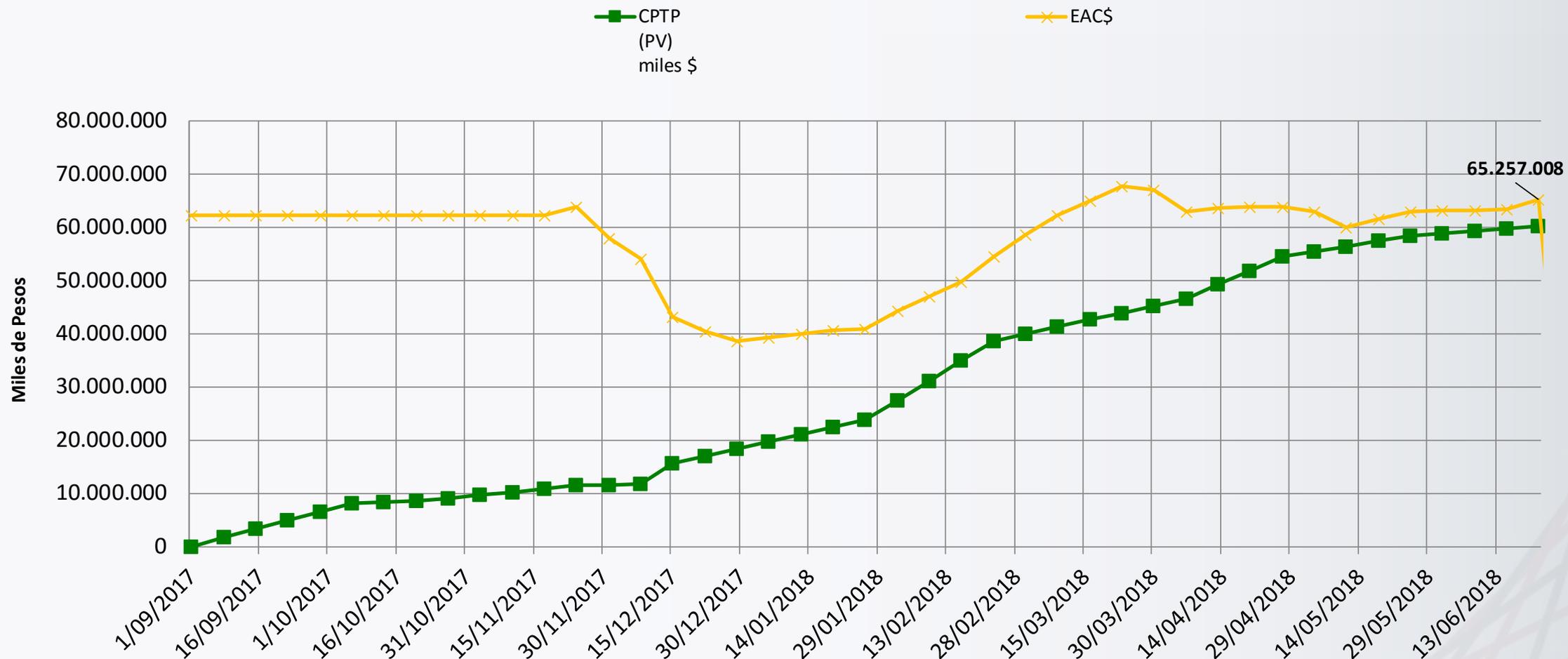
Índices de Desempeño

Índices de Desempeño

■ CPI\$ ▲ SPIt ◆ SPI\$



SV\$	\$500.404
CPI	0.98
SPI\$	\$ 3.048.635
SPIt	1.01



01

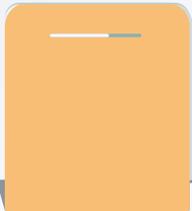
La construcción del documento de trabajo de grado requiere atención y cuidado en la manera de citar y referenciar la bibliografía, además de la calidad en la redacción propia.

**02**

Consideramos muy importante obtener los comentarios del documento de trabajo de grado de una persona externa al equipo con el fin de asegurar la comprensión del lector y la claridad del enfoque

**03**

Efectiva, oportuna y amorosa comunicación entre los miembros del equipo de trabajo de grado, lo cual permitió el excelente entendimiento de los entregables y tareas a realizar

**04**

Compromiso y entusiasmo de los miembros del equipo de trabajo reflejado en la entrega oportuna de tareas, el cumplimiento de las reuniones propuestas.



05

Excelente manejo de los stakeholders, comunicando activa y oportunamente el avance del trabajo de grado.

**06**

El adecuado y oportuno control y seguimiento del cronograma de trabajo de grado, permitió la toma de decisiones y planes de acción en el momento adecuado.

**07**

La decisión de aceptar un nuevo miembro en el equipo durante la etapa preliminar del trabajo de grado fue acertada, se realizó rápidamente el empalme del trabajo realizado hasta ese momento y se logró sinergia entre todos los miembros.

**08**

Los miembros del equipo de trabajo recibían positivamente cada uno de los comentarios y recomendaciones realizadas por el Director de trabajo de grado y los asesores técnicos y estadísticos.





11. BIBLIOGRAFÍA.

BIBLIOGRAFÍA

Aristizábal, D., Castellanos, J., Ordóñez, 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)

Ballestin, F., Valls, V., & Quintanilla S., (2006). Due Dates and RCPSP. In Perspectives in modern project scheduling, pp. 79-104. Springer US

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.

Boctor, F.F. (1993). Heuristics for scheduling projects with resource restrictions and several resource duration modes, *International Journal of Production Research* 31, 2547–2558.

Browning, T.R., Yassine, A.A., (2010). A random generator of resource-constrained multi-project network problems. *Journal of Scheduling* 13 (2), 143–161.

Browning, T. R., & Yassine, A. A. (2010). Resource-constrained multi-project scheduling: Priority rule performance

revisited. *International Journal of Production Economics*, 126(2), 212-228.

Browning, T. R., & Yassine, A. A. (2016). Managing a Portfolio of Product Development Projects under Resource Constraints. *Decision Sciences*, 47(2): 333-372.

Chaparro, V., and Castañeda, J., (2015). Ambiente multi-proyectos con recursos restringidos: una revisión del estado del arte. Universidad distrital Francisco José de Caldas.

Chen, J., Zhang, D., and 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)*

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.

Giraldo, G., Aristizábal, D., Castellanos, J., Ordóñez, 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).

BIBLIOGRAFÍA

Gonçalves, J.F., Mendes, J.J.d.M., Resende, M.G.C., (2008). A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 189 (3), 1171–1190.

Hartmann, S., Kolisch, R., (2000). Experimental evaluation of state-of-the-art heuristics for the resource-constrained project-scheduling problem. *European Journal of Operational Research* 127 (2), 394–407.

Hernández Sampieri Roberto, Fernández, C., Baptista, P., (2014). *Metodología de la investigación*. 6ª. Edición. McGraw hill. 37, 123.

Ju, C., & Chen, T., (2012). Simplifying multiproject scheduling problem based on design structure matrix and its solution by an improved aiNet algorithm. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2012. <https://doi.org/10.1155/2012/713740>

Kanagasabapathi,B., Rajendran, R., and Ananthanarayanan K.,, (2009). Performance analysis of scheduling rules in resource-constrained multiple projects. *Int. J. Industrial and Systems Engineering*, Vol. 4, No. 5, pp. 502-535

BIBLIOGRAFÍA

Kitchenham, B., Brereton, O. P., Budgen, D., Turner, M., Bailey, J., & Linkman, S. (2009). Systematic literature reviews in software engineering—a systematic literature review. *Information and software technology*, 51(1), 7-15.

Kolisch, R., Sprecher, A., and Drexler, A. (1995). Characterization and generation of a general class of resource constrained project scheduling problems. *Management Science*, 41(10):1693-1703.

Kolisch, R., & Sprecher, A., (1996). PSPLIB - A project scheduling problem library: OR software-ORSEP operations research software exchange program. *European journal of operational research*, 96(1), 205-216.

Kolisch, R., Schwindt, C., and Sprecher, A., (1998). Benchmark instances for scheduling problems. In: Weglarz, J. (Ed.), *Handbook on Recent Advances in Project Scheduling*. Kluwer, Amsterdam, pp. 197- 212.

Kolisch, R. and Padman R., (2001). An integrated survey of deterministic project scheduling., *The International Journal of Management Science*. *Omega*, 29:249 - 272, 2001

Kolisch, R., & Hartmann, S., (1999). Heuristic algorithms for solving the resource-constrained project scheduling problem: classification and computational analysis. *Handbook on recent advances in project scheduling*.

BIBLIOGRAFÍA

Kumanan, S., Jose, G.J., Raja, K., (2006). Multi-project scheduling using an heuristic and a genetic algorithm. *International Journal of Manufacturing Technology* 31 (3-4), 360 -366.

Krüger, D., & Scholl, A., (2009). 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.

Kurtulus, I., Davis, E.W., (1982). Multi-project scheduling: categorization of heuristic rules performance. *Management Science* 28 (2), 161–172.

Kurtulus, I.S., Narula, S.C., (1985). Multi-project scheduling: Analysis of project performance. *IIE Transactions*, 17, 58-66.

Kurtulus, I., (1985). Multiproject scheduling: analysis of scheduling strategies under unequal delay penalties. *Journal of Operations Management* 5 (3), 291–307.

BIBLIOGRAFÍA

- Lova, A., Tormos, P., (2001). Analysis of scheduling schemes and heuristic rules performance in resource-constrained multi-project scheduling. *Annals of Operations Research* 102 (1–4), 263–286.
- Montgomery, D., and Runger, G., (1996). *Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería*. McGraw Hill
- Morillo, D., Moreno, L., & Díaz, J., (2014). Metodologías Analíticas y Heurísticas para la Solución del Problema de Programación de Tareas con Recursos Restringidos (RCPSP): una revisión Parte 2. *Ingeniería y Ciencia*, 10(20), 203.
- Payne, J.H., (1995). Management of multiple simultaneous projects: a state-of-the- art review. *International Journal of Project Management* 13 (3), 163 - 168.
- Pérez, E., Posada, M., and Lorenzana, A., (2015). Taking advantage of solving the resource constrained multi-project scheduling problems using multi-modal genetic algorithms. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Project Management Institute., (2013). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos (Guía del PMBOK®)* - Quinta edición.

BIBLIOGRAFÍA

Tavares LV. (1999). A review of major paradigms and models for the design of civil engineering systems. *European Journal of Operational Research*. 119, 1 - 13.

Thesen, A. (1976). Heuristic scheduling of activities under resource and

Tseng, C. C., (2008). Two heuristic algorithms for a multi-mode resource- constrained multi-project scheduling problem. *Journal of science and Engineering Technology*, 4(2), 63-74

Villafañez, F., Pajares, J., & López, A., (2010). Un modelo de programación de entornos multi-proyecto basado en la Metodología de la Cadena Crítica. In 4th International Conference On Industrial Engineering and Industrial Management (pp. 1526-1535).

Villafañez, F., Pajares, J., López, A., and De la Fuente, D., (2014). From the RCPSP to the DRCMPSP: Methodological Foundations.

Villafañez, F., Pajares, J., López, A., and Olmo., (2018). A generic heuristic for multi-project scheduling problems with

BIBLIOGRAFÍA

global and local resource constraints (RCMPSP).

Xiang, W., Shou, Y., Li, Y., and Yao W., (2014). A Multiagent Evolutionary Algorithm for the Resource-Constrained Project Portfolio Selection and Scheduling Problem. *Mathematical Problems in Engineering*, Vol. 2014, 9 pages.

Yang, R., Li, W., Jiang, P., Zhou, Y., and Wu, G. (2014). A modified differential evolution algorithm for resource constrained multi-project scheduling problem. *Journal of Computers*, 9(8), 1923.

Zuloaga, M., (2017). Optimizing resource allocation in a portfolio of projects related to technology infusion using heuristic and meta-heuristic methods. Massachusetts Institute Of Technology.



“Hay días
que
resumen años,
y hoy *
es uno de ellos”

ANÓNIMO

