

---

## Tabla de contenidos

Resumen .....	VII
Tabla de contenidos .....	XIII
Índice de figuras .....	XVII
Agradecimientos .....	XIX
<b>1. Introducción</b> .....	1
1.1. Presentación del Área .....	1
1.2. Gestión de Proyectos .....	2
1.3. Descripción del problema .....	4
1.4. Marco de Trabajo .....	6
1.4.1. Programación de Proyectos con Recursos Limitados y Único Modo de Ejecución (RCPSp) .....	6
1.4.2. Programación de Proyectos con Recursos Limitados y Múltiples Modos de Ejecución (MRCPSp) .....	7
1.4.3. Generación de Programaciones Robustas .....	8
1.5. Motivación .....	9
1.6. Objetivos y Principales Contribuciones .....	10
1.7. Estructura .....	11
<b>2. Revisión General del Estado del Arte</b> .....	13
2.1. Introducción .....	13
2.2. Formulación de los problemas .....	14
2.2.1. Programación de proyectos con recursos limitados y modo único RCPSp .....	14
2.2.2. Programación de proyectos con recursos limitados múltiples modos MRCPSp .....	15
2.2.3. Generación de Programaciones Robustas .....	17
2.3. Métodos de Solución para el RCPSp y MRCPSp .....	18

2.3.1.	Métodos de Enumeración Implícita . . . . .	19
2.3.2.	Métodos Aproximados . . . . .	22
2.3.2.1.	Métodos Basados en Reglas de Prioridad . . . . .	22
2.3.2.2.	Métodos Metaheurísticos . . . . .	26
2.3.3.	Métodos de Mejora de Programaciones Factibles . . . . .	28
2.3.3.1.	Método de Mejora Forward-Backward para el RCPSP . . . . .	29
2.3.3.2.	Método Paralelo de Mejora para MRCPSP . . . . .	29
2.3.3.3.	Método Serie de Mejora para MRCPSP . . . . .	29
2.3.3.4.	Justificación a la izquierda versión multimodo . . . . .	30
2.4.	Generación de Programaciones Robustas . . . . .	31
2.4.1.	Tipos de robustez y medidas . . . . .	32
2.4.2.	Métodos Proactivos . . . . .	32
2.5.	Algoritmos Genéticos . . . . .	34
2.5.1.	Representación de las Soluciones . . . . .	34
2.5.2.	Tamaño de la Población . . . . .	35
2.5.3.	Selección . . . . .	36
2.5.4.	Cruce . . . . .	37
2.5.5.	Mutación . . . . .	38
2.5.6.	Reemplazo . . . . .	39
2.5.7.	Sustitución . . . . .	39
2.5.8.	Funciones de Fitness utilizadas en el MRCPSP . . . . .	40
2.5.8.1.	Duración del Proyecto . . . . .	41
2.5.8.2.	Función de penalización de Hartmann . . . . .	41
2.5.8.3.	Función de penalización de Alcaraz . . . . .	41
2.6.	Librerías de Prueba . . . . .	42
2.6.1.	Librería de pruebas PSPLIB . . . . .	43
2.6.1.1.	Parámetros para el RCPSP . . . . .	43
2.6.1.2.	PSPLIB versión Multimodo . . . . .	44
2.6.2.	Conjunto de Boctor . . . . .	45
2.7.	Conclusiones . . . . .	46
<b>3.</b>	<b>Propuesta y Evaluación de Métodos de Solución para el RCPSP . . . . .</b>	<b>47</b>
3.1.	Introducción . . . . .	47
3.2.	Nuevos Métodos Desarrollados para el problema RCPSP . . . . .	48
3.2.1.	Impacto del Método de Mejora y Nueva Heurística Adaptativa . . . . .	48
3.2.2.	Algoritmo Genético Híbrido . . . . .	50
3.2.2.1.	Generación de la Población Inicial . . . . .	51
3.2.2.2.	Tamaño de la Población . . . . .	51
3.2.2.3.	Operadores Genéticos . . . . .	52
3.2.2.4.	Método de Búsqueda Local . . . . .	52
3.3.	Evaluación de los métodos propuestos . . . . .	53
3.3.1.	Impacto del Método de Mejora FBI . . . . .	54

3.3.2.	Heurística Adaptativa . . . . .	56
3.3.3.	Algoritmo Genético . . . . .	58
3.3.3.1.	Algoritmo genético con sustitución poblacional y población estática . . . . .	58
3.3.3.2.	Algoritmo genético con sustitución poblacional y población dinámica . . . . .	59
3.3.3.3.	Algoritmo genético con sustitución inmediata y población dinámica . . . . .	60
3.3.3.4.	Algoritmo genético con población estática y sustitución inmediata . . . . .	62
3.4.	Comparación . . . . .	62
3.4.1.	Heurística Adaptativa . . . . .	62
3.4.2.	Algoritmo Genético . . . . .	63
3.5.	Conclusiones . . . . .	65
<b>4.</b>	<b>Propuesta y Evaluación de Métodos de Solución para el MRCPSP . . . . .</b>	<b>69</b>
4.1.	Introducción . . . . .	69
4.2.	Aportaciones en el problema MRCPSP . . . . .	69
4.2.1.	Método de Mejora de Programaciones Factibles - MM-FBI . . . . .	70
4.2.1.1.	Esfuerzo computacional del Método MM-FBI . . . . .	71
4.2.1.2.	Ejemplo . . . . .	72
4.2.2.	Selección del Modo de Ejecución de las Actividades . . . . .	73
4.2.3.	Algoritmo Genético Híbrido . . . . .	75
4.2.3.1.	Evaluación de los individuos . . . . .	75
4.2.3.2.	Población Inicial . . . . .	77
4.2.3.3.	Nuevo Operador de Mutación para la lista de modos . . . . .	78
4.3.	Evaluación de las aportaciones para el MRCPSP . . . . .	78
4.3.1.	Desempeño de la Función Evaluación de los individuos . . . . .	80
4.3.2.	Evaluación de la Asignación de Modos y de la Generación de la Población Inicial . . . . .	81
4.3.3.	Desempeño del operador de mutación masiva en el Algoritmo Genético Básico . . . . .	81
4.3.4.	Impacto del método de mejora sobre el Algoritmo Genético Básico . . . . .	82
4.3.5.	Desempeño del MM-HGA en el problema MRCPSP . . . . .	83
4.4.	Comparación con los mejores algoritmos reportados . . . . .	86
4.5.	Conclusiones . . . . .	87
<b>5.</b>	<b>Generación y Evaluación de Programaciones Robustas . . . . .</b>	<b>89</b>
5.1.	Introducción . . . . .	89
5.2.	Aportaciones en la generación proactiva de programaciones . . . . .	90

5.2.1.	Algoritmo Genético para generación de programaciones robustas - RGA	90
5.2.1.1.	Representación de los Individuos	91
5.2.1.2.	Generación de la Población Inicial	91
5.2.1.3.	Operadores Genéticos	92
5.2.1.4.	Evaluación de los Individuos	92
5.2.1.5.	Ejemplo	94
5.2.2.	Medidas de Robustez de la Secuencia Realizada	95
5.3.	Evaluación y Comparación	96
5.3.1.	Procedimiento Reactivo	96
5.3.2.	Escenarios de Variabilidad	97
5.3.3.	Método Aleatorio de Inserción de Buffers	97
5.3.4.	Pesos de Inestabilidad de las Actividades	98
5.3.5.	Robustez Promedio de la Secuencia Base (ABSR)	98
5.3.6.	Promedio Porcentual de Retraso de la Finalización del Proyecto (%ADPC)	98
5.3.7.	Coste de Estabilidad	101
5.3.8.	Impacto de las características del proyecto	105
5.4.	Conclusiones	115
<b>6.</b>	<b>Conclusiones</b>	<b>121</b>
6.1.	Aportaciones	121
6.1.1.	RCPSP	122
6.1.2.	MRCPS	122
6.1.3.	Generación de Programaciones Robustas	124
6.2.	Líneas Futuras de Investigación	125
6.3.	Publicaciones	125
	<b>Referencias</b>	<b>129</b>

---

## Índice de figuras

1.1. Triángulo del Proyecto .....	3
1.2. Ciclo de Vida del Proyecto .....	4
3.1. Mejora de Resultados de las Heurísticas .....	55
3.2. Mejora de las programaciones utilizando el método aleatorizado	57
4.1. (a) Solución Inicial Factible (b) Solución luego de aplicar MM-B (c) solución luego de aplicar MM-F .....	74
4.2. Impacto del operador de mutación masiva en el AG básico.....	82
4.3. Desempeño del AG Básico y del MM-HGA en los conjuntos J10 y J20 .....	84
5.1. Representación del Individuo RGA .....	91
5.2. Instancia de Ejemplo Disponibilidad $(R1, R2)=(6,5)$ .....	94
5.3. Duración Mínima del Proyecto .....	94
5.4. Programación Robusta .....	95
5.5. ABSR, escenario de alta variabilidad .....	99
5.6. ABSR, escenario de baja variabilidad .....	100
5.7. %ADPC, escenario de alta variabilidad .....	102
5.8. %ADPC, escenario de baja variabilidad .....	103
5.9. Impacto de la Complejidad de la Red en la medida ABSR - escenario de alta variabilidad .....	107
5.10. Impacto de la Complejidad de la Red en la medida ABSR - escenario de baja variabilidad .....	108
5.11. Impacto de la complejidad de la red en la medida %ADPC - escenario de alta variabilidad .....	109
5.12. Impacto de la complejidad de la red en la medida %ADPC - escenario de baja variabilidad .....	110
5.13. Impacto del Factor de Recurso en la medida ABSR - escenario de alta variabilidad .....	111