

# **Generación Automática de Resúmenes de Un Solo Documento Basada en Algoritmos Meméticos**



## **Anexos**

**Clara Inés Noguera Solano  
Jeimmy Susana Bonilla Méndez**

**Director: Dr. (c) Martha Eliana Mendoza Becerra**

*Universidad del Cauca*

**Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Sistemas**

**Grupo de I+D en Tecnologías de la Información (GTI)**

**Línea Investigación: Gestión de la Información, Recuperación de la  
Información**

**Popayán, Mayo de 2013**

# Contenido

<i>ANEXO A – ESTUDIO INICIAL DE OPERADORES DEL MA</i> .....	1
<i>1 INTRODUCCIÓN</i> .....	2
<i>2 OPERADOR DE SELECCIÓN</i> .....	2
2.1 SELECCIÓN POR RUEDA DE RULETA .....	3
2.2 SELECCIÓN POR TORNEO.....	4
2.3 SELECCIÓN BASADA EN EL RANGO.....	5
2.4 SELECCIÓN ELITISTA .....	7
2.5 SELECCIÓN POR EMPAREJAMIENTO RESTRINGIDO .....	8
<i>3 OPERADOR DE CRUCE</i> .....	8
3.1 CRUCE DE UN PUNTO.....	9
3.2 CRUCE DE N PUNTOS.....	10
3.3 CRUCE UNIFORME .....	10
3.4 CRUCE PLANO.....	11
3.5 CRUCE DE ANILLO .....	12
<i>4 OPERADOR DE MUTACIÓN</i> .....	13
4.1 MUTACIÓN DE INTERCAMBIO .....	14
4.2 MUTACIÓN DE INSERCIÓN .....	15
4.3 MUTACIÓN DE BIT .....	15
4.4 MUTACIÓN MULTI-BIT.....	16
<i>5 OPERADOR DE REEMPLAZO</i> .....	16
5.1 REEMPLAZO ALEATORIO.....	17
5.2 REEMPLAZO DEL PEOR.....	17
5.3 REEMPLAZO DEL PEOR PADRE.....	18
5.4 REEMPLAZO DEL SIMILAR O CERCANO.....	18

5.5	REEMPLAZO POR COMPETENCIA RESTRINGIDA .....	19
6	<i>OPERADOR DE OPTIMIZACIÓN LOCAL</i> .....	19
6.1	BÚSQUEDA LOCAL BÁSICA.....	21
6.2	BÚSQUEDA LOCAL POR ENTORNOS VARIABLES .....	21
6.2.1	Búsqueda local por entornos variables descendente .....	22
6.2.2	Búsqueda local por entornos variables reducida .....	22
6.2.3	Búsqueda local por entornos variables básica.....	23
6.3	BÚSQUEDA LOCAL GUIADA.....	24
6.4	BÚSQUEDA TABÚ .....	26
6.5	BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA .....	28
7	<i>ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS OPERADORES DEL MA</i> .....	29
8	<i>CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DEL MA</i> .....	32
	<i>ANEXO B – DEFINICIÓN DE LOS OPERADORES REPRODUCTIVOS DEL MA</i> .....	33
1	<i>CONFIGURACIÓN INICIAL DE OPERADORES</i> .....	34
2	<i>PRIMERA ETAPA: Definición Del Operador De Selección</i> .....	34
2.1	CONFIGURACIONES DE LOS MÉTODOS DE SELECCIÓN.....	35
2.1.1	PRIMER GRUPO: Torneo Probabilístico .....	35
2.1.2	SEGUNDO GRUPO: Torneo Determinístico.....	36
2.1.3	TERCER GRUPO: Basada En Rango .....	38
2.1.4	CUARTO GRUPO: Rueda de Ruleta .....	39
2.1.5	QUINTO GRUPO: Rango Aleatorio .....	41
2.1.6	SEXTO GRUPO: Emparejamiento Restringido .....	42
2.2	DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES COMBINACIONES DE MÉTODOS DE SELECCIÓN .....	44
3	<i>SEGUNDA ETAPA: Definición Del Operador De Cruce</i> .....	46
3.1	PRIMER GRUPO: Cruce de un Punto .....	46
3.2	SEGUNDO GRUPO: Cruce de Dos Puntos .....	47
3.3	TERCER GRUPO: Cruce Uniforme.....	49

3.4	CUARTO GRUPO: Cruce De Anillo .....	50
3.5	QUINTO GRUPO: Cruce Plano .....	51
3.6	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	52
4	<i>TERCERA ETAPA: Elección Del Operador De Mutación</i> .....	54
4.1	PRIMER GRUPO: Mutación de Bit .....	54
4.1.1	PRIMER SUBGRUPO: Mutación de Inserción .....	54
4.1.2	SEGUNDO SUBGRUPO: Mutación de Intercambio .....	55
4.1.3	TERCER SUBGRUPO: Mutación Compuesta.....	58
4.1.4	ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PRIMER GRUPO .....	59
4.2	SEGUNDO GRUPO: Mutación Multi-Bit .....	61
4.2.1	PRIMER SUBGRUPO: Mutación De Inserción.....	61
4.2.2	SEGUNDO SUBGRUPO: Mutación de Intercambio.....	62
4.2.3	TERCER SUBGRUPO: Mutación Compuesta.....	66
4.2.4	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SEGUNDO GRUPO .....	67
4.3	ELECCIÓN DE LA MEJOR TÉCNICA DE MUTACIÓN .....	69
5	<i>CUARTA ETAPA: Elección Del Operador De Reemplazo</i> .....	70
5.1	PRIMER GRUPO: Reemplazo Competencia Restringida.....	70
5.2	SEGUNDO GRUPO: Reemplazo Aleatorio.....	71
5.3	TERCER GRUPO: Reemplazo Del Peor.....	72
5.4	CUARTO GRUPO: Reemplazo Del Peor Progenitor.....	73
5.5	QUINTO GRUPO: Reemplazo Del Cercano.....	74
5.6	SEXTO GRUPO: Reemplazo Del Similar.....	75
5.7	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	76
	<i>ANEXO C – DEFINICIÓN DEL OPERADOR DE BÚSQUEDA LOCAL</i> .....	79
1	<i>DESCRIPCIÓN DEL PROCESO</i> .....	80
2	<i>PRIMERA ETAPA: BÚSQUEDA LOCAL BÁSICA</i> .....	80
3	<i>SEGUNDA ETAPA: BÚSQUEDA LOCAL POR ENTORNOS VARIABLES</i> .....	84
3.1	PRIMER GRUPO: Búsqueda Local por Entornos Variables Descendente.....	90

3.1.1	PRIMER SUBGRUPO: Implementación VND1 .....	91
3.1.2	SEGUNDO SUBGRUPO: Implementación VND2.....	95
3.1.3	ANALISIS DE RESULTADOS .....	96
3.2	SEGUNDO GRUPO: Búsqueda Local por Entornos Variables Reducida .....	97
3.2.1	PRIMER SUBGRUPO: Implementación RVNS1 .....	97
3.2.2	SEGUNDO SUBGRUPO: Implementación RVNS2.....	99
3.2.3	ANALISIS DE RESULTADOS .....	100
3.3	TERCER GRUPO: Búsqueda Local por Entornos Variables Básica .....	101
4	<i>TERCERA ETAPA: BÚSQUEDA LOCAL GUIADA</i> .....	102
4.1	PRIMER GRUPO: Establecimiento del esquema de la GLS .....	103
4.2	SEGUNDO GRUPO: Establecimiento del costo de las características .....	105
4.3	TERCER GRUPO: Afinación del Parámetro de Regularización $\lambda$ .....	107
5	<i>CUARTA ETAPA: BÚSQUEDA TABÚ</i> .....	110
6	<i>QUINTA ETAPA: Búsqueda Local Iterativa</i> .....	114
6.1	PRIMER GRUPO: Establecimiento del esquema de la ILS .....	115
6.2	SEGUNDO GRUPO: Establecimiento de la estrategia de perturbación .....	117
6.3	TERCER GRUPO: Afinación de la fuerza de perturbación .....	120
7	<i>ANÁLISIS FINAL DE RESULTADOS</i> .....	121
	<i>ANEXO D – DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO</i> .....	124
1	<i>CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO</i> .....	125
2	<i>CONFIGURACIÓN FINAL DE LA FUNCIÓN OBJETIVO</i> .....	127
2.1	PRIMERA ETAPA DE CONFIGURACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO .....	127
2.1.1	Primer Bloque de Experimentos .....	127
2.1.2	Segundo Bloque de Experimentos .....	131
2.1.3	Tercer Bloque de Experimentos.....	136
2.2	SEGUNDA ETAPA DE CONFIGURACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO .....	140
2.2.1	Cuarto Bloque de Experimentos .....	140
2.2.2	Quinto Bloque de Experimentos .....	142

<i>ANEXO E – AFINACIÓN Y EVALUACIÓN ADICIONAL DE CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ORACIONES</i> .....		145
<i>1</i>	<i>CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DE PARÁMETROS</i> .....	146
<i>2</i>	<i>AFINACIÓN DE PARÁMETROS DEL MA</i> .....	147
2.1	AFINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA POBLACIÓN .....	147
2.2	AFINACIÓN DEL NÚMERO DE OPTIMIZACIONES .....	149
2.3	AFINACIÓN DEL VALOR PARA ELITISMO EN REINICIACIÓN .....	150
2.4	AFINACIÓN DEL VALOR PARA ELITISMO EN GENERACIÓN.....	151
2.5	AFINACIÓN DEL TAMAÑO DEL GRUPO DE COMPETENCIA .....	153
2.6	AFINACIÓN DE LA MÁXIMA LONGITUD A EVALUAR DE UN DOCUMENTO .....	154
2.6.1	Primer grupo: MLED con valores fijos.....	154
2.6.2	Segundo grupo: MLED como un porcentaje .....	156
2.1.2	Tercer grupo: MLED como un porcentaje de un rango .....	157
2.7	AFINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OPTIMIZACIÓN .....	159
2.8	AFINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE MUTACIÓN .....	161
<i>3</i>	<i>AFINACIÓN DE PESOS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO DEL MA</i> .....	163
3.1	PRIMERA ETAPA: Pesos iniciales obtenidos con el GA diseñado .....	163
3.2	SEGUNDA ETAPA: Afinación de pesos .....	168
3.2.1	Primer grupo .....	168
3.2.2	Segundo grupo .....	169
3.2.3	Tercer grupo.....	171
3.2.4	Cuarto grupo .....	172
3.2.5	Quinto grupo .....	173
<i>4</i>	<i>EVALUACIÓN ADICIONAL DE CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ORACIONES</i> .....	175
4.1	ANÁLISIS CON DUC 2002.....	176
4.1.1	Elección del criterio de selección.....	176
4.1.2	EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE SELECCIÓN CON EL MA .....	186

4.2	ANÁLISIS CON DUC 2001.....	189
4.2.1	Elección del criterio .....	189
	<i>BIBLIOGRAFÍA</i> .....	193

# Lista de tablas

<b>Tabla 1.</b> Análisis Operador de Selección .....	29
<b>Tabla 2.</b> Análisis Operador de Cruce .....	30
<b>Tabla 3.</b> Análisis Operador de Mutación .....	30
<b>Tabla 4.</b> Análisis Operador de Reemplazo.....	30
<b>Tabla 5.</b> Análisis Operador de Búsqueda Local.....	31
<b>Tabla 6.</b> Métodos destacados según el estudio realizado .....	31
<b>Tabla 7.</b> Configuración preliminar del Algoritmo Memético propuesto.....	32
<b>Tabla 8.</b> Configuración preliminar del MA para iniciar la definición de operadores reproductivos	34
<b>Tabla 9.</b> Resultados del primer grupo de experimentos del operador de selección .....	35
<b>Tabla 10.</b> Resultados del segundo grupo de experimentos del operador de selección.....	36
<b>Tabla 11.</b> Resultados del tercer grupo de experimentos del operador de selección .....	38
<b>Tabla 12.</b> Resultados del cuarto grupo de experimentos del operador de selección .....	39
<b>Tabla 13.</b> Resultados del quinto grupo de experimentos del operador de selección.....	41
<b>Tabla 14.</b> Resultados del sexto grupo de experimentos del operador de selección.....	42
<b>Tabla 15.</b> Recopilación de los resultados de los mejores experimentos de cada grupo de selección	44
<b>Tabla 16.</b> Configuración de las cinco mejores parejas de operadores de selección.....	46
<b>Tabla 17.</b> Resultados del primer grupo de experimentos del operador de cruce.....	46
<b>Tabla 18.</b> Resultados del segundo grupo de experimentos del operador de cruce .....	48
<b>Tabla 19.</b> Resultados del tercer grupo de experimentos del operador de cruce .....	49
<b>Tabla 20.</b> Resultados del cuarto grupo de experimentos del operador de cruce .....	50
<b>Tabla 21.</b> Resultados del quinto grupo de experimentos del operador de cruce .....	51
<b>Tabla 22.</b> Resultados de los cinco mejores experimentos de los grupos de cruce. ....	53
<b>Tabla 23.</b> Resultado del mejor experimento del primer subgrupo de mutación.....	54
<b>Tabla 24.</b> Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio1 .....	55
<b>Tabla 25.</b> Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio2 .....	56
<b>Tabla 26.</b> Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3 .....	57
<b>Tabla 27.</b> Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta .....	58
<b>Tabla 28.</b> Resultados de los cuatro mejores experimentos del primer grupo de mutación .....	60
<b>Tabla 29.</b> Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción .....	61
<b>Tabla 30.</b> Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1 .....	62



<b>Tabla 31.</b>	Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2.....	64
<b>Tabla 32.</b>	Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3.....	65
<b>Tabla 33.</b>	Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta.....	66
<b>Tabla 34.</b>	Resultados de los cinco mejores experimentos del segundo grupo de mutación.....	68
<b>Tabla 35.</b>	Resultados de los dos mejores experimentos de los grupos de mutación.....	69
<b>Tabla 36.</b>	Resultados del primer grupo de experimentos del operador de reemplazo.....	70
<b>Tabla 37.</b>	Resultados del segundo grupo de experimentos del operador de reemplazo.....	71
<b>Tabla 38.</b>	Resultados del tercer grupo de experimentos del operador reemplazo.....	72
<b>Tabla 39.</b>	Resultados del cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo.....	73
<b>Tabla 40.</b>	Resultados del quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo.....	74
<b>Tabla 41.</b>	Resultados del sexto grupo de experimentos del operador reemplazo.....	75
<b>Tabla 42.</b>	Resultados de los seis mejores experimentos de los grupos de reemplazo.....	76
<b>Tabla 43.</b>	Configuración del MA al final del ciclo de definición de operadores reproductivos.....	78
<b>Tabla 44.</b>	Resultados de experimentos de Búsqueda Local Básica.....	82
<b>Tabla 45.</b>	Descripción de estrategias de generación de vecindades.....	84
<b>Tabla 46.</b>	Resultados de los experimentos de VND1 con $k = 1$ .....	92
<b>Tabla 47.</b>	Resultados de los experimentos de VND1 con $k = 2$ .....	93
<b>Tabla 48.</b>	Resultados de los mejores experimentos de VND1.....	94
<b>Tabla 49.</b>	Resultados de los experimentos de VND2.....	95
<b>Tabla 50.</b>	Resultados de los mejores experimentos de VND.....	96
<b>Tabla 51.</b>	Resultados de los experimentos de RVNS1.....	98
<b>Tabla 52.</b>	Resultados de los experimentos de RVNS2.....	99
<b>Tabla 53.</b>	Resultados de los mejores experimentos de RVNS.....	100
<b>Tabla 54.</b>	Resultados de los experimentos de BVNS.....	101
<b>Tabla 55.</b>	Fórmulas de factores para los cálculos de costo de características GLS.....	103
<b>Tabla 56.</b>	Resultados del primer grupo de experimentos de GLS.....	104
<b>Tabla 57.</b>	Cálculo del Costo de una Característica en la GLS.....	105
<b>Tabla 58.</b>	Resultados del segundo grupo de experimentos de GLS.....	105
<b>Tabla 59.</b>	Configuraciones del Parámetro de Regularización.....	107
<b>Tabla 60.</b>	Resultados del tercer grupo de experimentos de GLS.....	108
<b>Tabla 61.</b>	Resultados Experimentos Búsqueda Tabú.....	113
<b>Tabla 62.</b>	Resultados del primer grupo de experimentos de ILS.....	116
<b>Tabla 63.</b>	Descripción de estrategias de perturbación ILS.....	117

<b>Tabla 64.</b> Resultados del segundo grupo de experimentos de ILS.....	119
<b>Tabla 65.</b> Resultados del tercer grupo de experimentos de ILS.....	120
<b>Tabla 66.</b> Resultados de los mejores experimentos del operador de BL.....	122
<b>Tabla 67.</b> Criterios de inclusión de características de la FO preliminar.....	125
<b>Tabla 68.</b> Criterios de exclusión de características de la FO preliminar.....	126
<b>Tabla 69.</b> Resultados obtenidos de los experimentos 1 al 7 del primer bloque .....	127
<b>Tabla 70.</b> Configuración de la FO para los experimentos 8 y 9 del primer bloque de experimentos .....	129
<b>Tabla 71.</b> Resultados obtenidos de los experimentos 8 y 9 del primer bloque .....	129
<b>Tabla 72.</b> Configuración de la FO para el segundo bloque de experimentos.....	131
<b>Tabla 73.</b> Resultados obtenidos para el segundo bloque de experimentos .....	132
<b>Tabla 74.</b> Configuración de la FO para el tercer bloque de experimentos.....	136
<b>Tabla 75.</b> Resultados obtenidos para el tercer bloque de experimentos.....	136
<b>Tabla 76.</b> Resultados obtenidos de los cinco mejores experimentos de la primera etapa para definir la FO .....	138
<b>Tabla 77.</b> Configuración de la FO para el cuarto bloque de experimentos.....	140
<b>Tabla 78.</b> Resultados obtenidos para el cuarto bloque de experimentos.....	140
<b>Tabla 79.</b> Configuración de la FO para el quinto bloque de experimentos.....	143
<b>Tabla 80.</b> Resultados obtenidos para el quinto bloque de experimentos.....	143
<b>Tabla 81.</b> Configuración preliminar de los parámetros del MA .....	147
<b>Tabla 82.</b> Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de TP .....	148
<b>Tabla 83.</b> Resultados de los experimentos de afinación de TP .....	148
<b>Tabla 84.</b> Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de NOPT .....	149
<b>Tabla 85.</b> Resultados de los experimentos de afinación de NOTP .....	149
<b>Tabla 86.</b> Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de ER.....	150
<b>Tabla 87.</b> Resultados de los experimentos de afinación de ER.....	150
<b>Tabla 88.</b> Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de EG .....	151
<b>Tabla 89.</b> Resultados de los experimentos de afinación de EG .....	152
<b>Tabla 90.</b> Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de TGC.....	153
<b>Tabla 91.</b> Resultados de los experimentos de afinación de TGS .....	153
<b>Tabla 92.</b> Parámetros utilizados en el primer grupo de afinación de MLED.....	155
<b>Tabla 93.</b> Resultados del primer grupo de experimentos de afinación de MLED .....	155
<b>Tabla 94.</b> Parámetros utilizados en el segundo grupo de afinación de MLED .....	156

<b>Tabla 95.</b> Resultados del segundo grupo de experimentos de afinación de MLED.....	156
<b>Tabla 96.</b> Parámetros utilizados en el tercer grupo de afinación de MLED .....	158
<b>Tabla 97.</b> Resultados del tercer grupo de experimentos de afinación de MLED .....	158
<b>Tabla 98.</b> Parámetros utilizados en el grupo de experimentos de afinación de POPT .....	160
<b>Tabla 99.</b> Resultados del grupo de experimentos de afinación de POPT.....	160
<b>Tabla 100.</b> Parámetros utilizados en el grupo de experimentos de afinación de PM.....	162
<b>Tabla 101.</b> Resultados del grupo de experimentos de afinación de PM.....	162
<b>Tabla 102.</b> Primer grupo de pesos obtenidos con el GA .....	164
<b>Tabla 103.</b> Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA.....	164
<b>Tabla 104.</b> Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA .....	164
<b>Tabla 105.</b> Resultados del Experimento 0.....	164
<b>Tabla 106.</b> Resultados del MA con el primer grupo de pesos obtenidos con el GA.....	165
<b>Tabla 107.</b> Resultados del MA con el segundo grupo de pesos obtenidos con el GA .....	166
<b>Tabla 108.</b> Resultados del MA con el tercer grupo de pesos obtenidos con el GA .....	167
<b>Tabla 109.</b> Primer grupo de pesos evaluados con la FO del MA.....	168
<b>Tabla 110.</b> Resultados de los experimentos del primer grupo de afinación de pesos de la FO del MA.....	168
<b>Tabla 111.</b> Segundo grupo de pesos evaluados con la FO del MA.....	170
<b>Tabla 112.</b> Resultados de los experimentos del segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA.....	170
<b>Tabla 113.</b> Tercer grupo de pesos evaluados con la FO del MA .....	171
<b>Tabla 114.</b> Resultados de los experimentos del tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA .....	171
<b>Tabla 115.</b> Cuarto grupo de pesos evaluados con la FO del MA.....	172
<b>Tabla 116.</b> Resultados de los experimentos del cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA .....	173
<b>Tabla 117.</b> Quinto grupo de pesos evaluados con la FO del MA.....	174
<b>Tabla 118.</b> Resultados de los experimentos del Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA.....	174
<b>Tabla 119.</b> Resultados del primer grupo de criterios de selección con DUC 2002.....	176
<b>Tabla 120.</b> Oraciones que forman los resúmenes del primer grupo del criterio de selección de 10 documentos de DUC 2002.....	177
<b>Tabla 121.</b> Resultados del segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002. ....	178

<b>Tabla 122.</b> Oraciones que forman los resúmenes del segundo grupo del criterio de selección de 10 documentos aleatorios de DUC 2002.....	179
<b>Tabla 123.</b> Resultados del tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002.....	180
<b>Tabla 124.</b> Oraciones que forman los resúmenes del tercer grupo del criterio de selección de 10 documentos aleatorios de DUC 2002.....	181
<b>Tabla 125.</b> Resultados del cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002.....	182
<b>Tabla 126.</b> Oraciones que forman los resúmenes del cuarto grupo del criterio de selección de 10 documentos aleatorios de DUC 2002.....	183
<b>Tabla 127.</b> Resultados del quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002.....	184
<b>Tabla 128.</b> Resultados del sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002. ....	185
<b>Tabla 129.</b> Resultados de los experimentos sin y con MA con DUC 2002. ....	187
<b>Tabla 130.</b> Resultados de los experimentos sin y con MA con DUC 2002. ....	188
<b>Tabla 131.</b> Resultados de los criterios de selección con DUC 2001.....	189
<b>Tabla 132.</b> Resultados de los experimentos sin y con MA con DUC 2001 .....	192

# Tabla de figuras

<b>Figura 1.</b> Algoritmo Selección por Rueda de ruleta.....	3
<b>Figura 2.</b> Algoritmo de Selección por Torneo Determinístico.....	4
<b>Figura 3.</b> Algoritmo de Selección por Torneo Probabilístico .....	5
<b>Figura 4.</b> Selección Basada en el Rango .....	6
<b>Figura 5.</b> Selección basada en Rango Aleatorio .....	7
<b>Figura 6.</b> Selección Elitista .....	7
<b>Figura 7.</b> Selección por Emparejamiento Restringido .....	8
<b>Figura 8.</b> Cruce de un Punto .....	9
<b>Figura 9.</b> Pseudocódigo Cruce de un Punto .....	9
<b>Figura 10.</b> Cruce de Dos Puntos .....	10
<b>Figura 11.</b> Pseudocódigo Cruce de Dos Puntos .....	10
<b>Figura 12.</b> Representación Cruce Uniforme .....	11
<b>Figura 13.</b> Pseudocódigo Cruce Uniforme.....	11
<b>Figura 14.</b> Cruce Plano .....	12
<b>Figura 15.</b> Pseudocódigo Cruce Plano .....	12
<b>Figura 16.</b> Cruce de Anillo – 1 .....	12
<b>Figura 17.</b> Cruce de Anillo – 2 .....	13
<b>Figura 18.</b> Pseudocódigo Cruce de Anillo .....	13
<b>Figura 19.</b> Mutación de Intercambio.....	14
<b>Figura 20.</b> Pseudocódigo Mutación de Intercambio .....	14
<b>Figura 21.</b> Mutación de Inserción .....	15
<b>Figura 22.</b> Pseudocódigo Mutación de Inserción.....	15
<b>Figura 23.</b> Mutación de Bit .....	15
<b>Figura 24.</b> Pseudocódigo Mutación de Bit.....	16
<b>Figura 25.</b> Mutación Multi-Bit.....	16
<b>Figura 26.</b> Pseudocódigo Mutación Multi-Bit .....	16
<b>Figura 27.</b> Pseudocódigo Reemplazo Aleatorio.....	17
<b>Figura 28.</b> Pseudocódigo Reemplazo del Peor .....	17
<b>Figura 29.</b> Pseudocódigo Reemplazo del Peor Padre .....	18
<b>Figura 30.</b> Pseudocódigo Reemplazo del Cercano .....	18

<b>Figura 31.</b> Pseudocódigo Reemplazo del Similar .....	19
<b>Figura 32.</b> Reemplazo por Competencia Restringida .....	19
<b>Figura 33.</b> Ejemplo Distancia de Hamming.....	20
<b>Figura 34.</b> BL Básica del Mejor.....	21
<b>Figura 35.</b> BL Básica del Primer Mejor.....	21
<b>Figura 36.</b> Búsqueda Local por Entornos Variables Descendente.....	22
<b>Figura 37.</b> Búsqueda Local por Entornos Variables Reducida .....	23
<b>Figura 38.</b> Búsqueda Local por Entornos Variables Básica.....	23
<b>Figura 39.</b> Función indicadora de una solución s.....	24
<b>Figura 40.</b> Componentes principales de la GLS .....	24
<b>Figura 41.</b> Búsqueda Local Guiada.....	26
<b>Figura 42.</b> Búsqueda Tabú.....	27
<b>Figura 43.</b> Búsqueda Local Iterativa.....	28
<b>Figura 44.</b> Primer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1 .....	35
<b>Figura 45.</b> Primer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2 .....	36
<b>Figura 46.</b> Primer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4 .....	36
<b>Figura 47.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1 .....	37
<b>Figura 48.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2 .....	37
<b>Figura 49.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4.....	37
<b>Figura 50.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1.....	38
<b>Figura 51.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2.....	38
<b>Figura 52.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4.....	39
<b>Figura 53.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1 .....	40
<b>Figura 54.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2 .....	40
<b>Figura 55.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4 .....	40
<b>Figura 56.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1 .....	41
<b>Figura 57.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2 .....	41
<b>Figura 58.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4.....	42
<b>Figura 59.</b> Sexto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1 .....	43
<b>Figura 60.</b> Sexto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2 .....	43
<b>Figura 61.</b> Sexto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4.....	43
<b>Figura 62.</b> Mejores experimentos de cada grupo de selección con R1 .....	45
<b>Figura 63.</b> Mejores experimentos de cada grupo de selección con R2 .....	45

<b>Figura 64.</b> Mejores experimentos de cada grupo de selección con RSU4 .....	45
<b>Figura 65.</b> Primer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1 .....	47
<b>Figura 66.</b> Primer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2 .....	47
<b>Figura 67.</b> Primer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4 .....	47
<b>Figura 68.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1 .....	48
<b>Figura 69.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2 .....	48
<b>Figura 70.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4 .....	48
<b>Figura 71.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1 .....	49
<b>Figura 72.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2 .....	49
<b>Figura 73.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4.....	50
<b>Figura 74.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1 .....	50
<b>Figura 75.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2 .....	50
<b>Figura 76.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4 .....	51
<b>Figura 77.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1 .....	51
<b>Figura 78.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2 .....	51
<b>Figura 79.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4 .....	52
<b>Figura 80.</b> Mejores experimentos de los grupos de cruce con ROUGE-1 .....	53
<b>Figura 81.</b> Mejores experimentos de los grupos de cruce con ROUGE-2 .....	53
<b>Figura 82.</b> Mejores experimentos de los grupos de cruce con ROUGE-SU4 .....	53
<b>Figura 83.</b> Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio1 con ROUGE-1 .....	55
<b>Figura 84.</b> Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio1 con ROUGE-2 .....	56
<b>Figura 85.</b> Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio1 con ROUGE-SU4 .....	56
<b>Figura 86.</b> Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio2 con ROUGE-1 .....	56
<b>Figura 87.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-2 .....	57
<b>Figura 88.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-SU4 .....	57
<b>Figura 89.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-1 .....	57
<b>Figura 90.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-2 .....	58
<b>Figura 91.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-SU4 .....	58
<b>Figura 92.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-1 .....	59
<b>Figura 93.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-2 .....	59
<b>Figura 94.</b> Experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-SU4 .....	59
<b>Figura 95.</b> Mejores experimentos del primer grupo de mutación con ROUGE-1 .....	60
<b>Figura 96.</b> Mejores experimentos del primer grupo de mutación con ROUGE-2 .....	60

<b>Figura 97.</b> Mejores experimentos del primer grupo de mutación con ROUGE-SU4 .....	60
<b>Figura 98.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción con ROUGE-1 .....	61
<b>Figura 99.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción con ROUGE-2 .....	62
<b>Figura 100.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción con ROUGE-SU4 .....	62
<b>Figura 101.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1 con ROUGE-1 .....	63
<b>Figura 102.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1 con ROUGE-2 .....	63
<b>Figura 103.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1 con ROUGE-SU4 .....	63
<b>Figura 104.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-1 .....	64
<b>Figura 105.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-2 .....	64
<b>Figura 106.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-SU4 .....	64
<b>Figura 107.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-1 .....	65
<b>Figura 108.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-2 .....	65
<b>Figura 109.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-SU4 .....	65
<b>Figura 110.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-1 .....	66
<b>Figura 111.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-2 .....	66
<b>Figura 112.</b> Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-SU4 .....	67
<b>Figura 113.</b> Mejores experimentos del segundo grupo de mutación con ROUGE-1 .....	68
<b>Figura 114.</b> Mejores experimentos del segundo grupo de mutación con ROUGE-2 .....	68
<b>Figura 115.</b> Mejores experimentos del segundo grupo de mutación con ROUGE-RSU4 .....	68
<b>Figura 116.</b> Mejores experimentos del operador de mutación con ROUGE-1 .....	69
<b>Figura 117.</b> Mejores experimentos del operador de mutación con ROUGE-2 .....	69
<b>Figura 118.</b> Mejores experimentos del operador de mutación con ROUGE-SU4 .....	69
<b>Figura 119.</b> Primer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1 .....	70
<b>Figura 120.</b> Primer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2 .....	70
<b>Figura 121.</b> Primer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4 .....	71
<b>Figura 122.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1 .....	71
<b>Figura 123.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2 .....	71
<b>Figura 124.</b> Segundo grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4 .....	72
<b>Figura 125.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1 .....	72
<b>Figura 126.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2 .....	72
<b>Figura 127.</b> Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4 .....	73
<b>Figura 128.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1 .....	73
<b>Figura 129.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2 .....	73



<b>Figura 130.</b> Cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4 .....	74
<b>Figura 131.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1 .....	74
<b>Figura 132.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2 .....	74
<b>Figura 133.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4 .....	75
<b>Figura 134.</b> Sexto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1 .....	75
<b>Figura 135.</b> Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2 .....	75
<b>Figura 136.</b> Sexto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4 .....	76
<b>Figura 137.</b> Mejores experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1 .....	77
<b>Figura 138.</b> Mejores experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2 .....	77
<b>Figura 139.</b> Mejores experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4 .....	77
<b>Figura 140.</b> Movimiento con estrategia exhaustiva .....	81
<b>Figura 141.</b> Movimiento con estrategia exhaustiva-ansiosa .....	81
<b>Figura 142.</b> Movimiento con estrategia ansiosa .....	82
<b>Figura 143.</b> Movimiento con estrategia exhaustiva-ansiosa .....	82
<b>Figura 144.</b> Búsqueda Local Básica, ROUGE-1 .....	83
<b>Figura 145.</b> Búsqueda Local Básica, ROUGE-2 .....	83
<b>Figura 146.</b> Búsqueda Local Básica, ROUGE-SU4 .....	83
<b>Figura 147.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad 1 .....	85
<b>Figura 148.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad 2 .....	85
<b>Figura 149.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad 3 .....	86
<b>Figura 150.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad 4 .....	87
<b>Figura 151.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad 5 .....	88
<b>Figura 152.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad 6 .....	88
<b>Figura 153.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad Aleatoria .....	89
<b>Figura 154.</b> Esquema de funcionamiento de la Vecindad Completa .....	90
<b>Figura 155.</b> Esquema VND1 .....	91
<b>Figura 156.</b> Esquema VND2 .....	91
<b>Figura 157.</b> VND1 con $k = 1$ , ROUGE-1 .....	92
<b>Figura 158.</b> VND1 con $k = 1$ , ROUGE-2 .....	92
<b>Figura 159.</b> VND1 con $k = 1$ , ROUGE-SU4 .....	92
<b>Figura 160.</b> VND1 con $k = 2$ , ROUGE-1 .....	93
<b>Figura 161.</b> VND1 con $k = 2$ , ROUGE-2 .....	93
<b>Figura 162.</b> VND1 con $k = 2$ , ROUGE-2 .....	93

<b>Figura 163.</b> Mejores experimentos de VND1, ROUGE-1 .....	94
<b>Figura 164.</b> Mejores experimentos de VND1, ROUGE-2 .....	94
<b>Figura 165.</b> Mejores experimentos de VND1, ROUGE-SU4 .....	94
<b>Figura 166.</b> VND2, ROUGE-1 .....	95
<b>Figura 167.</b> VND2, ROUGE-2 .....	95
<b>Figura 168.</b> VND2, ROUGE-SU4 .....	95
<b>Figura 169.</b> Mejores experimentos de VND, ROUGE-1 .....	96
<b>Figura 170.</b> Mejores experimentos de VND, ROUGE-2 .....	96
<b>Figura 171.</b> Mejores experimentos de VND, ROUGE-SU4 .....	96
<b>Figura 172.</b> Esquema RVNS1 .....	97
<b>Figura 173.</b> Esquema RVNS2 .....	97
<b>Figura 174.</b> RVNS1, ROUGE-1 .....	98
<b>Figura 175.</b> RVNS1, ROUGE-2 .....	98
<b>Figura 176.</b> RVNS1, ROUGE-SU4 .....	98
<b>Figura 177.</b> RVNS2, ROUGE-1 .....	99
<b>Figura 178.</b> RVNS2, ROUGE-2 .....	99
<b>Figura 179.</b> RVNS2, ROUGE-SU4 .....	99
<b>Figura 180.</b> Mejores experimentos de RVNS, ROUGE-1 .....	100
<b>Figura 181.</b> Mejores experimentos de RVNS, ROUGE-2 .....	100
<b>Figura 182.</b> Mejores experimentos de RVNS, ROUGE-SU4 .....	100
<b>Figura 183.</b> BVNS, ROUGE-1 .....	101
<b>Figura 184.</b> BVNS, ROUGE-2 .....	101
<b>Figura 185.</b> BVNS, ROUGE-SU4 .....	101
<b>Figura 186.</b> Esquema GLS1 .....	103
<b>Figura 187.</b> Esquema GLS2 .....	103
<b>Figura 188.</b> Primer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-1 .....	104
<b>Figura 189.</b> Primer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-2 .....	104
<b>Figura 190.</b> Primer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-SU4 .....	104
<b>Figura 191.</b> Segundo grupo de experimentos de GLS, ROUGE-1 .....	106
<b>Figura 192.</b> Segundo grupo de experimentos de GLS, ROUGE-2 .....	106
<b>Figura 193.</b> Segundo grupo de experimentos de GLS, ROUGE-SU4 .....	106
<b>Figura 194.</b> Tercer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-1 .....	108
<b>Figura 195.</b> Tercer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-2 .....	109

<b>Figura 196.</b> Tercer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-SU4.....	109
<b>Figura 197.</b> Búsqueda Tabú: Primera implementación.....	111
<b>Figura 198.</b> Búsqueda Tabú: Segunda implementación.....	111
<b>Figura 199.</b> Búsqueda Tabú: Tercera implementación .....	112
<b>Figura 200.</b> Búsqueda Tabú: Cuarta implementación.....	112
<b>Figura 201.</b> Búsqueda Tabú: Quinta implementación .....	113
<b>Figura 202.</b> Búsqueda Tabú: Sexta implementación .....	113
<b>Figura 203.</b> Búsqueda Tabú, ROUGE-1 .....	114
<b>Figura 204.</b> Búsqueda Tabú, ROUGE-2.....	114
<b>Figura 205.</b> Búsqueda Tabú, ROUGE-SU4.....	114
<b>Figura 206.</b> Esquema ILS1 .....	115
<b>Figura 207.</b> Esquema ILS2 .....	115
<b>Figura 208.</b> Primer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-1 .....	116
<b>Figura 209.</b> Primer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-2.....	116
<b>Figura 210.</b> Primer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-SU4.....	116
<b>Figura 211.</b> Esquema Perturbación P1 .....	117
<b>Figura 212.</b> Esquema Perturbación P2.....	118
<b>Figura 213.</b> Esquema Perturbación P3.....	118
<b>Figura 214.</b> Esquema Perturbación P4.....	118
<b>Figura 215.</b> Esquema Perturbación P5.....	119
<b>Figura 216.</b> Segundo grupo de experimentos de ILS, ROUGE-1 .....	119
<b>Figura 217.</b> Segundo grupo de experimentos de ILS, ROUGE-2.....	119
<b>Figura 218.</b> Segundo grupo de experimentos de ILS, ROUGE-SU4.....	120
<b>Figura 219.</b> Tercer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-1 .....	121
<b>Figura 220.</b> Tercer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-2 .....	121
<b>Figura 221.</b> Tercer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-SU4 .....	121
<b>Figura 222.</b> Mejores experimentos del operador de BL, ROUGE-1.....	122
<b>Figura 223.</b> Mejores experimentos del operador de BL, ROUGE-2.....	122
<b>Figura 224.</b> Mejores experimentos del operador de BL, ROUGE-SU4 .....	122
<b>Figura 225.</b> Experimentos 1 al 7 del primer bloque de diseño FO, ROUGE-1 .....	128
<b>Figura 226.</b> Experimentos 1 al 7 del primer bloque de diseño FO, ROUGE-2 .....	128
<b>Figura 227.</b> Experimentos 1 al 7 del primer bloque de diseño FO, ROUGE-SU4 .....	128
<b>Figura 228.</b> Primer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1 .....	129

<b>Figura 229.</b> Primer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2 .....	130
<b>Figura 230.</b> Primer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4 .....	130
<b>Figura 231.</b> Segundo bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1 .....	132
<b>Figura 232.</b> Segundo bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2 .....	133
<b>Figura 233.</b> Segundo bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4 .....	133
<b>Figura 234.</b> Experimentos 8, 9,10 y 11, ROUGE-1 .....	134
<b>Figura 235.</b> Experimentos 8, 9,10 y 11, ROUGE-2 .....	134
<b>Figura 236.</b> Experimentos 8, 9,10 y 11, ROUGE-SU4 .....	134
<b>Figura 237.</b> Tercer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1 .....	137
<b>Figura 238.</b> Tercer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2 .....	137
<b>Figura 239.</b> Tercer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4 .....	137
<b>Figura 240.</b> Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, ROUGE-1 .....	138
<b>Figura 241.</b> Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, detalle ROUGE-1 .....	138
<b>Figura 242.</b> Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, ROUGE-2 .....	139
<b>Figura 243.</b> Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, ROUGE-SU4 .....	139
<b>Figura 244.</b> Cuarto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1 .....	141
<b>Figura 245.</b> Experimentos originales de la primera etapa, ROUGE-1 .....	141
<b>Figura 246.</b> Cuarto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2 .....	141
<b>Figura 247.</b> Experimentos originales de la primera etapa, ROUGE-2 .....	141
<b>Figura 248.</b> Cuarto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4 .....	142
<b>Figura 249.</b> Experimentos originales de la primera etapa, ROUGE-SU4 .....	142
<b>Figura 250.</b> Quinto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1 .....	143
<b>Figura 251.</b> Quinto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2 .....	144
<b>Figura 252.</b> Quinto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4 .....	144
<b>Figura 253.</b> Afinación del parámetro TP, ROUGE-1 .....	148
<b>Figura 254.</b> Afinación del parámetro TP, ROUGE-2 .....	148
<b>Figura 255.</b> Afinación del parámetro TP, ROUGE-SU4 .....	148
<b>Figura 256.</b> Afinación del parámetro NOPT, ROUGE-1 .....	149
<b>Figura 257.</b> Afinación del parámetro NOPT, ROUGE-2 .....	150
<b>Figura 258.</b> Afinación del parámetro NOPT, ROUGE-SU4 .....	150
<b>Figura 259.</b> Afinación del parámetro ER, ROUGE-1 .....	151
<b>Figura 260.</b> Afinación del parámetro ER, ROUGE-2 .....	151

<b>Figura 261.</b> Afinación del parámetro ER, ROUGE-SU4.....	151
<b>Figura 262.</b> Afinación del parámetro EG, ROUGE-1.....	152
<b>Figura 263.</b> Afinación del parámetro EG, ROUGE-2.....	152
<b>Figura 264.</b> Afinación del parámetro EG, ROUGE-SU4.....	152
<b>Figura 265.</b> Afinación del parámetro TGC, ROUGE-1 .....	153
<b>Figura 266.</b> Afinación del parámetro TGC, ROUGE-2 .....	154
<b>Figura 267.</b> Afinación del parámetro TGC, ROUGE-SU4.....	154
<b>Figura 268.</b> Afinación del parámetro MLED, ROUGE-1.....	155
<b>Figura 269.</b> Afinación del parámetro MLED, ROUGE-2.....	155
<b>Figura 270.</b> Afinación del parámetro MLED, ROUGE-SU4.....	155
<b>Figura 271.</b> Segundo grupo de experimentos de afinación del parámetro MLED, ROUGE-1.....	157
<b>Figura 272.</b> Segundo grupo de experimentos de afinación del parámetro MLED, ROUGE-2.....	157
<b>Figura 273.</b> Segundo grupo de experimentos de afinación del parámetro MLED, ROUGE-SU4 .....	157
<b>Figura 274.</b> Afinación del parámetro MLED, ROUGE-1.....	158
<b>Figura 275.</b> Afinación del parámetro MLED, ROUGE-2.....	159
<b>Figura 276.</b> Afinación del parámetro MLED, ROUGE-SU4.....	159
<b>Figura 277.</b> Afinación de POPT, ROUGE-1 .....	160
<b>Figura 278.</b> Afinación de POPT, ROUGE-2 .....	161
<b>Figura 279.</b> Afinación de POPT, ROUGE-SU4 .....	161
<b>Figura 280.</b> Afinación de la PM, ROUGE-1.....	162
<b>Figura 281.</b> Afinación de la PM, ROUGE-2.....	163
<b>Figura 282.</b> Afinación de la PM, ROUGE-SU4.....	163
<b>Figura 283.</b> Primer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-1 .....	165
<b>Figura 284.</b> Primer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-2 .....	165
<b>Figura 285.</b> Medida RSU4 del primer grupo de pesos obtenidos con el GA.....	165
<b>Figura 286.</b> Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-1 .....	166
<b>Figura 287.</b> Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-2 .....	166
<b>Figura 288.</b> Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-SU4.....	166
<b>Figura 289.</b> Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-1 .....	167
<b>Figura 290.</b> Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-2.....	167
<b>Figura 291.</b> Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-SU4.....	167
<b>Figura 292.</b> Primer grupo de experimentos de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1 ..	169
<b>Figura 293.</b> Primer grupo de experimentos de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1 ..	169

<b>Figura 294.</b> Primer grupo de experimentos de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2 ..	169
<b>Figura 295.</b> Segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1 .....	170
<b>Figura 296.</b> Segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2 .....	171
<b>Figura 297.</b> Segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4 .....	171
<b>Figura 298.</b> Tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1 .....	172
<b>Figura 299.</b> Tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2 .....	172
<b>Figura 300.</b> Tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4 .....	172
<b>Figura 301.</b> Cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1 .....	173
<b>Figura 302.</b> Cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2 .....	173
<b>Figura 303.</b> Cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4 .....	173
<b>Figura 304.</b> Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1 .....	174
<b>Figura 305.</b> Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2 .....	175
<b>Figura 306.</b> Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4 .....	175
<b>Figura 307.</b> Primer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1 .....	176
<b>Figura 308.</b> Primer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2 .....	177
<b>Figura 309.</b> Primer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4 .....	177
<b>Figura 310.</b> Segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1 .....	178
<b>Figura 311.</b> Segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2 .....	179
<b>Figura 312.</b> Segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4. ....	179
<b>Figura 313.</b> Tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1 .....	180
<b>Figura 314.</b> Tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2 .....	181
<b>Figura 315.</b> Tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4 .....	181
<b>Figura 316.</b> Cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1 .....	182
<b>Figura 317.</b> Cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2 .....	183
<b>Figura 318.</b> Cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4 .....	183
<b>Figura 319.</b> Quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1 .....	184
<b>Figura 320.</b> Quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2 .....	185
<b>Figura 321.</b> Quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4 .....	185
<b>Figura 322.</b> Sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1 .....	186
<b>Figura 323.</b> Sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2 .....	186
<b>Figura 324.</b> Sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4 .....	186
<b>Figura 325.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-1 .....	187
<b>Figura 326.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-2 .....	187

<b>Figura 327.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-SU4.....	187
<b>Figura 328.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-1 .....	188
<b>Figura 329.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-2.....	188
<b>Figura 330.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-SU4.....	188
<b>Figura 331.</b> Criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-1 .....	190
<b>Figura 332.</b> Criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-2.....	190
<b>Figura 333.</b> Criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-SU4.....	190
<b>Figura 334.</b> Cinco mejores criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-1.....	191
<b>Figura 335.</b> Cinco mejores criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-2.....	191
<b>Figura 336.</b> Cinco mejores criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-SU4 .....	191
<b>Figura 337.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2001, ROUGE-1 .....	192
<b>Figura 338.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2001, ROUGE-2.....	192
<b>Figura 339.</b> Experimentos sin y con MA con DUC 2001, ROUGE-SU4.....	192

***ANEXO A – ESTUDIO INICIAL DE  
OPERADORES DEL MA***

---



## **1 INTRODUCCIÓN**

Con el fin de conducir la búsqueda hacia las zonas más prometedoras del espacio de soluciones, los algoritmos meméticos incorporan el uso de técnicas de optimización local. Sin embargo, al ser un algoritmo evolutivo, la definición de los operadores involucrados en el paso generacional constituye también un aspecto fundamental que determina el proceso de búsqueda, pues de ellos depende gran parte del nivel de diversidad genética presente en la población, garantizando la exploración de la mayor parte del espacio de soluciones. De esta manera, pueden existir diferentes formas de tomar la decisión sobre cómo llegar a las mejores soluciones del espacio, la más evidente sería la de mantener a los agentes más aptos de la población, sin embargo, esto conduciría a la perpetuación de material genético, donde rápidamente aparecerían súper-agentes que provocarían el estancamiento en óptimos locales, uno de los grandes inconvenientes presentes en los algoritmos genéticos y conocido como *convergencia prematura* [1, 2]. Por lo tanto, al determinar los operadores que conforman el algoritmo, es preciso seleccionar un nivel de diversidad genética adecuado que impida la aparición de este problema y que a su vez no sea tan alto que, por el contrario, retrase demasiado la convergencia e incremente el costo computacional, sin obtener, necesariamente, las soluciones más prometedoras.

Tras un estudio preliminar y teniendo en cuenta los rasgos que comparte el proceso memético con la evolución genética, en la presente investigación, se revisaron un conjunto de operadores reproductivos basado en sus registros de comportamiento en algoritmos genéticos. Así mismo, se revisaron los métodos de optimización local más comunes y con mejor desempeño presentes en la literatura. Conforme a esta revisión, se sugirieron los métodos de cada operador cuyas cualidades señalaban el favorecimiento del balance entre la exploración (diversificación) y la explotación (intensificación) de la búsqueda. Como paso final de este proceso, con base en la simplicidad, se establecieron los primeros métodos que formarían la configuración *preliminar* del algoritmo memético con la cual se iniciarían los ciclos de experimentaciones para la definición de los operadores del esquema *final* del algoritmo.

## **2 OPERADOR DE SELECCIÓN**

El operador de selección es el encargado de elegir los agentes que participarán en el proceso de reproducción para crear nuevos agentes que conformen una nueva población.

Este proceso juega un rol importante en el mejoramiento y mantenimiento de la calidad promedio de las soluciones, pues tiene bajo su responsabilidad que los mejores agentes pasen a la siguiente generación con mayor probabilidad. Así pues, los mecanismos de selección se fundamentan en el valor de aptitud para favorecer la escogencia de las mejores soluciones y reducir el espacio de búsqueda a través de la exclusión de las peores. Sin embargo, el descartar los agentes menos aptos, no es siempre el mejor método, pues podría llevar a la homogeneidad o convergencia en la población. De ese modo, lo ideal es lograr una compensación entre la exploración y la explotación dentro del algoritmo de selección [3], dando cierta oportunidad a los peores agentes de ser escogidos aun cuando se privilegie a los mejores. De esta manera, como se presentará en las siguientes secciones, la alternativa más común para este aspecto, es el añadir un cierto factor de azar al proceso.

A continuación se describen las técnicas de selección más sobresalientes en la literatura, las cuales fueron adaptadas al problema abordado en la presente investigación.

## 2.1 SELECCIÓN POR RUEDA DE RULETA

Este método, conocido también como selección Montecarlo o selección proporcional [4], es la técnica de selección más antigua surgida junto con los algoritmos genéticos [5]. Consiste en simular el comportamiento de una rueda de ruleta, en la cual cada agente ocupa un espacio proporcional a su valor de aptitud. Así, para seleccionar un agente, la ruleta debe girar una cantidad aleatoria de veces. Tras la detención de la ruleta se conocerá cuál es el agente elegido por el selector de ruleta. Evidentemente, aquellos agentes con alta aptitud tendrán más probabilidad de ser escogidos, ya que, teóricamente, ocupan mayor espacio en la ruleta. De esta manera, sean  $f_1, f_2, \dots, f_n$  los valores de aptitud de los agentes  $1, 2, \dots, n$ , la probabilidad de selección de un agente está dada por la Ecuación (1).

$$P(a) = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j} \quad (1)$$

En la Figura 1 se muestra el algoritmo en el cual se basa la presente investigación y que describe en forma general el funcionamiento de este método.

```

FUNC SeleccionRuedaDeRuleta (n: N) → Agente
Variables
    probGenerada, probActual = 0, probAcumulada, Aleatorio : ℝ;
    AgenteSeleccionado: Agente;
Inicio
    /* Calcular la aptitud de toda la población */
    Aleatorio ← Generar Aleatorio en [0,1];
    probAcumulada ← SumarAptitudesPoblacion();
    probGenerada ← probAcumulada * Aleatorio;
    /* Recorrer secuencialmente los agentes, sumando los valores
    esperados, hasta que la suma sea mayor o igual a la
    probabilidad generada*/
    PARA i ← 0 HASTA |Poblacion| HACER
        /*El agente que haga que la suma exceda el límite r es
        el seleccionado*/
        probActual ← probActual + FitnessAgentei;
        SI (probabilidadActual >= probabilidadGenerada) ENTONCES
            AgenteSeleccionado ← Agentei;
            BREAK;
        FINSI
    FINPARA
    DEVOLVER AgenteSeleccionado;
Fin

```

**Figura 1.** Algoritmo Selección por Rueda de ruleta

La ventaja más considerable de este mecanismo de selección es que otorga a todos los individuos de la población la oportunidad de ser escogidos, favoreciendo la diversidad en la población. No obstante, dado que la elección está netamente ligada a los valores de aptitud, cuando hay una diferencia muy grande entre las aptitudes de la población, puede

ocurrir que los agentes más aptos dominen rápidamente la búsqueda ocasionando convergencia prematura y pérdida de diversidad. Así mismo, si los valores de aptitud de la población son muy similares, será difícil que la población se mueva hacia mejores lugares en el espacio de búsqueda, lo que provocará estancamiento en óptimos locales [6].

## 2.2 SELECCIÓN POR TORNEO

Gracias a su simplicidad y eficiencia, este método de selección, propuesto a mediados de los 80 [7], es probablemente el más utilizado dentro de los esquemas genéticos [8]. La selección por torneo consiste en la elección aleatoria de  $n$  candidatos de la población, los cuales deben competir entre sí para ser uno de los padres de la nueva generación, ganando aquel que tenga mayor valor de aptitud. La cantidad de competidores es conocida como *tamaño del torneo*<sup>1</sup>. Este método de selección suele ser adaptado para seleccionar más de un padre. En la Figura 2 se muestra el mecanismo de selección por torneo, conocido como *Torneo Determinístico*, en el cual se basa la presente investigación.

```

FUNC SeleccionTorneo( $n: \mathbb{N}$ )  $\rightarrow$  Agente
Variables
    Competidores: int[];
    TamanoTorneo :  $\mathbb{N}$ ;
    PadreSeleccionado: Agente;
Inicio
    /* Seleccionar competidores */
    PARA  $j \leftarrow 1$  HASTA TamanoTorneo HACER
        Aleatorio  $\leftarrow$  Generar Aleatorio en  $[0, n]$ ;
        Competidores[j]  $\leftarrow$  Aleatorio;
    FINPARA
     $p = 1$ ;
    /* Determinar el agente más apto */
    PARA  $j \leftarrow 1$  HASTA TamanoTorneo HACER
        PARA  $k \leftarrow j+1$  HASTA TamanoTorneo HACER
            SI Fitness(AgenteCompetidores[j])
                < Fitness(AgenteCompetidores[k]) ENTONCES
                 $p = k$ ;
            FINSI
        FINPARA
    FINPARA
    PadreSeleccionado = AgenteCompetidores[p];
    DEVOLVER PadreSeleccionado;
Fin

```

**Figura 2.** Algoritmo de Selección por Torneo Determinístico

Adicionalmente, existe una variación de este método, conocida como *Torneo Probabilístico*. La diferencia de esta versión radica solamente en la determinación del ganador del torneo, pues en lugar de escoger al individuo más apto, se genera un número aleatorio entre  $[0, 1]$ , así, si dicho número es mayor que un parámetro de probabilidad de

<sup>1</sup> El tamaño de torneo más común es de 2 competidores y suele conocerse como *Torneo binario*, el cual es el enfoque aplicado en la experimentación del presente trabajo.

selección<sup>2</sup>, entonces se decide por el individuo más apto, o en caso contrario, por el menos apto (Ver Figura 3).

```

FUNC SeleccionTorneoProbabilistico ( $n: \mathbb{N}$ , ProbabilidadDeSeleccion :  $\mathbb{R}$  )  $\rightarrow$  Agente
Variables
    Competidores: int[];
    TamanoTorneo :  $\mathbb{N}$ ;
    ProbGenerada :  $\mathbb{R}$ ;
    PadreSeleccionado: Agente;
Inicio
    /* Seleccionar competidores */
    PARA j  $\leftarrow$  1 HASTA TamanoTorneo HACER
        Aleatorio  $\leftarrow$  Generar Aleatorio en [0,n];
        Competidores[j]  $\leftarrow$  Aleatorio;
    FINPARA
    p = 1;
    ProbGenerada  $\leftarrow$  Generar Aleatorio en [0,1];
    /* Seleccionar el padre */
    SI ProbGenerada > ProbabilidadDeSeleccion ENTONCES
        SI Fitness (AgenteCompetidores[0])
            > Fitness (AgenteCompetidores[1]) ENTONCES
                p = 0;
        FINSI
    FINSI

    PadreSeleccionados= AgenteCompetidores[p];

    DEVOLVER PadreSeleccionado;
Fin

```

**Figura 3.** Algoritmo de Selección por Torneo Probabilístico

En general, esta técnica de selección, ofrece a todos los agentes mayor probabilidad de ser escogidos, pues su decisión no está basada completamente en los valores de aptitud [9]. De esta manera, este algoritmo contribuye a la preservación de la diversidad genética, aunque cabe resaltar que, en consecuencia, la velocidad de convergencia puede verse degradada. De otro lado, este método genera bajo costo computacional, debido a que prescinde del ordenamiento de la población con respecto a los valores de aptitud [6].

### 2.3 SELECCIÓN BASADA EN EL RANGO

Esta técnica, propuesta por Baker [10], tiene como objetivo enfrentar las desventajas de la selección por rueda de ruleta. De esta manera, hace un intento por conservar una presión constante en la búsqueda evolutiva, evitando que agentes muy aptos ganen dominancia al principio a expensas de los menos aptos [6]. Su estrategia consiste en dar a cada individuo una probabilidad de selección basada, no en los valores de aptitud, sino en un rango relativo a la población entera. Así pues, este algoritmo ordena los agentes de la población de acuerdo a su valor de aptitud para asignarles un rango, donde al mejor agente le corresponderá el rango  $N$ , siendo  $N$  el tamaño de la población, mientras que al peor le corresponderá el rango 1. Con base en dicho rango se calcula la probabilidad de

<sup>2</sup> La probabilidad de selección es establecida desde el inicio del proceso evolutivo.

selección de cada agente, para lo cual, en esta investigación, se utiliza una traducción lineal de rangos, en la que la tendencia puede controlarse a través de la presión selectiva  $s$ , de tal manera que  $1 \leq s \leq 2$ , con lo cual al mejor individuo le corresponde un rango escalado de  $s$  y al peor de  $2 - s$ . Los rangos escalados intermedios correspondientes al resto de miembros de la población son dados por la interpolación lineal de la presión selectiva del rango como se ve en la Ecuación (2) para un problema de maximización [11], o en la Ecuación (3) para el caso de minimización [6].

$$\text{rango}(\text{pos}) = s - \frac{2(s-1)(\text{pos}-1)}{(n-1)} \quad (2)$$

$$\text{rango}(\text{pos}) = 2 - s + \frac{2(s-1)(\text{pos}-1)}{(n-1)} \quad (3)$$

Donde  $n$  es el tamaño de la población y  $\text{pos}$  es la posición del agente en la población ordenada. La *presión selectiva*  $s$  puede determinarse como la relación entre el individuo más apto y el individuo medio<sup>3</sup> [6, 12]. Dentro del proceso evolutivo, la presión selectiva juega un papel destacado, pues se encarga de guiar la exploración hacia las mejores soluciones, evitando que se torne aleatoria. De esa forma, para el proceso de selección, en lugar de usar el valor de aptitud de un agente, se utiliza su rango escalado. La Figura 4 muestra, el mecanismo de esta selección en la forma como es aplicado en el presente estudio.

```

FUNC SeleccionBasadaEnRango( $n: \mathbb{N}, s: \mathbb{R}$ ) → Agente
Variables
    probActual, probAleatorio:  $\mathbb{R}$ ;
    AgenteSeleccionado: Agente;
    r : Double[];
Inicio
    /* Calcular el rango de cada agente */
    PARA i ← 0 HASTA n HACER
        /* En caso de Maximización */
         $r_i \leftarrow (s - (2 * (s - 1) * (i - 1)) / (n - 1));$ 
    FINPARA
    probAleatoria ← Generar Aleatorio en [0,1];
    PARA i ← 0 HASTA n HACER
        probActual ←  $r_i / n$ 
        SI probActual > probAleatoria ENTONCES
            AgenteSeleccionado = Agentei;
            BREAK;
        FINSI
    FINPARA
    DEVOLVER AgenteSeleccionado;
Fin

```

**Figura 4.** Selección Basada en el Rango

Adicionalmente, se realizó una variación de este método, denominada *Rango Aleatorio*, cuya diferencia radica en que para seleccionar un agente los rangos calculados se recorren en forma aleatoria, en lugar de hacerlo en forma secuencial como lo hace el

<sup>3</sup> Presión Selectiva: Cociente entre la aptitud máxima y la media de las aptitudes de la población.

método original. La Figura 4 muestra, el mecanismo de esta selección en la forma como es aplicado en esta propuesta.

```

FUNC SeleccionBasadaEnRangoAleatorio (n: N ,s: R)→ Agente
Variables
    probActual, probAleatorio: R;
    AgenteSeleccionado: Agente;
    Posicion: N;
Inicio
    /*Calcular el rango de cada agente */
    PARA i ← 0 HASTA n HACER
        /* En caso de Maximización */
        ri ← (s - (2 * (s - 1) * (i - 1)) / (n - 1));
    FINPARA
    probAleatoria ← Generar Aleatorio en [0,1];
    HACER
        Posicion ← Generar Aleatorio en [0,n];
        probActual ← rPosicion / n
        SI probActual > probAleatoria ENTONCES
            AgenteSeleccionado = AgentePosicion;
        FINSI
    MIENTRAS Posicion != -1;
    DEVOLVER AgenteSeleccionado;
Fin

```

**Figura 5.** Selección basada en Rango Aleatorio

La desventaja de este método radica en su alto costo computacional debido a la necesidad de ordenar la población y al cálculo adicional del rango escalado, pero puede ser realmente sopesado por los resultados que puede ofrecer.

## 2.4 SELECCIÓN ELITISTA

El mecanismo elitista consiste en seleccionar los  $n$  agentes más aptos para que sean copiados directamente a la siguiente generación [13]. La Figura 6 muestra el mecanismo de esta selección en la forma como es aplicado en la presente investigación.

```

FUNC SeleccionElitista (n: N)→ Agente[]
Variables
    AgentesSeleccionados: Agente[];
Inicio
    OrdenarPoblacionPorFitness();
    PARA i ← 0 HASTA n HACER
        AgentesSeleccionadosi ← Agentei;
    FINPARA
    DEVOLVER AgentesSeleccionados;
Fin

```

**Figura 6.** Selección Elitista

A pesar de que este método, por su baja complejidad, ayuda a mejorar el rendimiento del algoritmo evolutivo, sigue dando predilección a los agentes más aptos, lo que puede caer en la ya mencionada convergencia prematura. Por tal razón, la mayoría de esquemas evolutivos hacen uso de esta técnica en combinación con otro método de selección.

## 2.5 SELECCIÓN POR EMPAREJAMIENTO RESTRINGIDO

Este mecanismo es una adaptación de la selección por Torneo determinístico [14, 15]. La diferencia está en que tras seleccionar el conjunto aleatorio de agentes, se escoge, entre ellos, aquel cuyo valor de aptitud sea capaz de competir con un agente de referencia, es decir, el más similar. Dicho agente de referencia puede ser el mejor agente de la población, el padre que ya fue seleccionado u otro obtenido tras una estrategia predefinida. Esta técnica conduce a la creación de nichos contribuyendo a la explotación, lo cual es compensado con el favorecimiento de la exploración introducida por la aleatoriedad al escoger los agentes competidores. Teniendo en cuenta las características comunes de este método con el de Torneo determinístico expuesto previamente, el cual favorece mayormente la presión selectiva, en la presente investigación, se adaptó el esquema de emparejamiento restringido con el fin de favorecer la diversidad y exploración del espacio de búsqueda, de tal forma que en lugar de seleccionar el agente más similar al agente de referencia del grupo de competidores, se selecciona el más lejano (Ver Figura 7).

```
FUNC SeleccionEmparejamientoRestringido
(referente: Agente, n: N, TamanoTorneo : N) → Agente
Variables
  Competidores: Agente[];
  AgenteSeleccionado: Agente;
Inicio
  PARA j ← 0 HASTA TamanoTorneo HACER
    Posicion ← Generar Aleatorio en [0,n];
    Competidores[j] ← AgentePosicion;
  FINPARA
  AgenteSeleccionado ← FitnessLejano (referente, Competidores[j]);
  DEVOLVER AgenteSeleccionado;
Fin
```

Figura 7. Selección por Emparejamiento Restringido

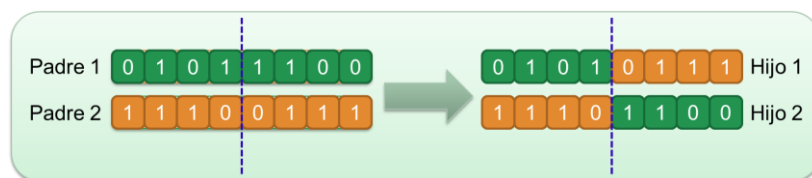
## 3 OPERADOR DE CRUCE

A causa de la inmensa relación entre algoritmos meméticos y genéticos, el cruce es el operador fundamental en la estructura de ambos esquemas. Este operador representa el apareamiento entre dos agentes y se lleva a cabo al intercambiar parte de sus cadenas para formar nuevos individuos [16]. La generación de dos hijos con una sola aplicación del operador de cruce no es una imposición, por lo que los mecanismos de cruce pueden extenderse para producir un solo hijo [9]. Así pues, en el presente trabajo el mecanismo de cruce es adaptado para producir un descendiente a la vez. El proceso de cruce se realiza tras la selección de los padres a través de cualquiera de las técnicas descritas en la Sección 2. El objetivo del cruce es que los agentes obtenidos sean más aptos que sus padres, los cuales se espera estén correctamente adaptados al medio para que puedan ceder sus mejores características. Sin embargo, es importante considerar que el cruce reiterado entre los mejores padres puede llevar a la predominancia de un cierto linaje, haciéndose presente el apareamiento entre hermanos, y provocando la caída en óptimos locales tras el dominio de los descendientes de un cromosoma en particular [13]. De esta manera, este operador lleva la búsqueda hacia regiones no exploradas del espacio de soluciones, contribuyendo a la diversidad genética de la población y reduciendo la

posibilidad de llegar a la convergencia prematura [16]. Los métodos de cruce descritos a continuación fueron seleccionados dentro de la presente investigación, tras un estudio preliminar, de entre varios métodos, gracias a sus características fácilmente adaptables y prometedoras para la resolución del problema abordado.

### 3.1 CRUCE DE UN PUNTO

Es el método de cruce más simple y tradicional dentro del contexto genético. Consiste en que, una vez seleccionados dos agentes, se fraccionan sus cromosomas en un punto específico seleccionado aleatoriamente, para generar dos segmentos en cada uno de ellos. Seguidamente, se intercambian los segmentos localizados después del corte entre los dos individuos, para generar los nuevos descendientes [12, 14, 16] (Ver Figura 8).



**Figura 8.** Cruce de un Punto

Este método puede introducir un sesgo posicional debido a la tendencia a mantener juntos los genes vecinos[9], lo que podría solventarse con la presencia de más puntos de corte, sin embargo, el adicionar demasiados puntos de corte puede terminar en la corrupción de los agentes y retrasar la obtención de soluciones prometedoras, introduciendo la aleatoriedad en el proceso de búsqueda. Por otro lado, este tipo de cruce se caracteriza por su simplicidad y capacidad de conservar gran parte del material genético de los padres, lo cual tiene un mayor beneficio cuando éstos poseen una aptitud alta. La Figura 9 muestra de forma general el algoritmo aplicado en la presente investigación.

```

FUNC CruceDeUnPunto(padre:Agente, madre:Agente) → Agente
Variables
    hijo : Agente;
    puntoCruce : N;
Inicio
    puntoCruce ← PuntoDeCruce();
    /* Primer bloque heredado del padre */
    PARA i ← 0 HASTA puntoCruce HACER
        hijo[i] ← padre[i];
    FINPARA
    /* Segundo bloque heredado de la madre */
    PARA i ← puntoCruce HASTA |Poblacion| HACER
        hijo[i] ← madre[i];
    FINPARA
    DEVOLVER hijo;
Fin

```

**Figura 9.** Pseudocódigo Cruce de un Punto



### 3.2 CRUCE DE N PUNTOS

Este método es una generalización del cruce de un punto. Su estrategia consiste en dividir los dos agentes en  $n$  puntos seleccionados al azar. Luego, el material genético situado entre los  $n$  puntos es intercambiado en forma intercalada [9]. La aplicación más común de esta técnica es conocida como *Cruce de Dos Puntos*, de esta manera, los cromosomas de los padres son divididos por dos cortes originando tres bloques. Así, para generar la descendencia, se intercambia el bloque central de los cromosomas entre los dos padres (Ver Figura 10) [13].

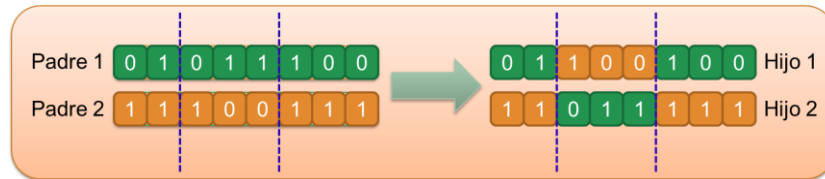


Figura 10. Cruce de Dos Puntos

Este cruce conserva las ventajas del cruce de un punto, pero permite más exploración del espacio de búsqueda, sin llegar a la corrupción de las soluciones que involucran las aplicaciones con demasiados puntos de corte. En la Figura 11 se aprecia el algoritmo que describe el funcionamiento general de este método.

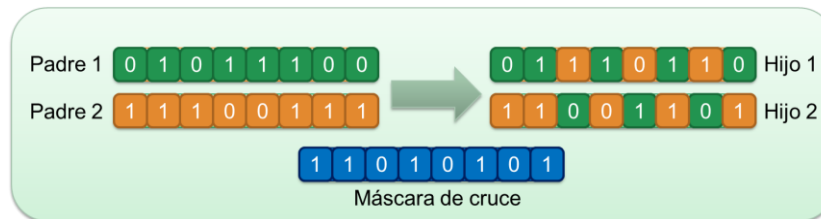
```
FUNC CruceDeDosPuntos (padre:Agente, madre:Agente)→ Agente
Variables
    hijo : Agente;
    puntoCruce1 : N;
    puntoCruce2 : N;
Inicio
    puntoCruce1 ← PuntoDeCruce();
    puntoCruce2 ← PuntoDeCruce();
    /* Primer bloque heredado del padre */
    PARA i ← 0 HASTA puntoCruce1 HACER
        hijo[i] ← padre[i];
    FINPARA
    /* Bloque central heredado de la madre */
    PARA i ← puntoCruce1 HASTA puntoCruce2 HACER
        hijo[i] ← madre[i];
    FINPARA
    /* Último bloque heredado del padre */
    PARA i ← puntoCruce2 HASTA |Poblacion| HACER
        hijo[i] ← padre[i];
    FINPARA
    DEVOLVER hijo;
Fin
```

Figura 11. Pseudocódigo Cruce de Dos Puntos

### 3.3 CRUCE UNIFORME

Esta estrategia fue propuesta por Syswerda [17], y consiste en la generación de una máscara de cruce de valores binarios. De esta forma, si el valor de una de las posiciones de la máscara es 1, entonces el gen situado en esa posición se hereda del primer padre,

por el contrario, si el valor es 0, el gen de esa posición es heredado del segundo padre. Para producir el segundo descendiente se intercambian los papeles de los padres o la interpretación de los unos y ceros en la máscara de cruce (Ver Figura 12).



**Figura 12.** Representación Cruce Uniforme

Este cruce se incluyó en la presente investigación debido a que fomenta la diversidad de la población, permitiendo la exploración más profunda del espacio de búsqueda, al incorporar más grado de aleatoriedad que el cruce de  $n$  puntos. Además, por la fuerte tendencia a mezclar los genes vecinos, no se presenta sesgo posicional. La Figura 13 muestra en forma general el funcionamiento de este algoritmo.

```

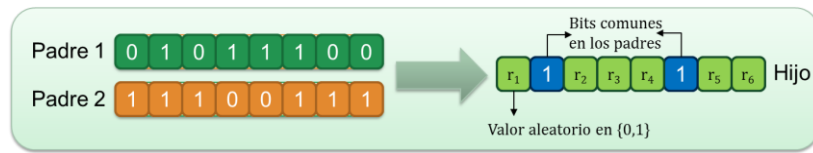
FUNC CruceUniforme (padre:Agente, madre:Agente)→ Agente
Variables
    hijo : Agente;
    mascaraCruce : int[];
Inicio
    /* Llenar Máscara de cruce */
    PARA i ← 0 HASTA |padre| HACER
        mascaraCruce[i] ← Generar Aleatorio en [0,1];
    FINPARA
    PARA i ← 0 HASTA |padre| HACER
        SI mascaraCruce[i] = 1 ENTONCES
            hijo[i] ← padre[i];
        SINO
            hijo[i] ← madre[i];
        FINSI
    FINPARA
    DEVOLVER hijo;
Fin

```

**Figura 13.** Pseudocódigo Cruce Uniforme

### 3.4 CRUCE PLANO

Esta técnica, propuesta por Radcliffe [18], se basa en la identificación de un patrón común de bits entre dos o más individuos de la población. A diferencia de los esquemas descritos hasta el momento, el cruce plano funciona sobre dos o más padres. La lógica general de este método consiste en determinar los bits comunes entre los padres seleccionados, los cuales son heredados a los descendientes. Los bits faltantes son llenados con valores aleatorios, repitiendo el proceso hasta que se obtenga la cantidad de hijos deseada (Ver Figura 14).



**Figura 14.** Cruce Plano

Este método permite ampliar el espacio de búsqueda al introducir un componente de aleatoriedad, conservando aun los componentes sobresalientes de la población que conducen a soluciones prometedoras. En la Figura 15 se muestra el algoritmo que describe esta técnica.

```

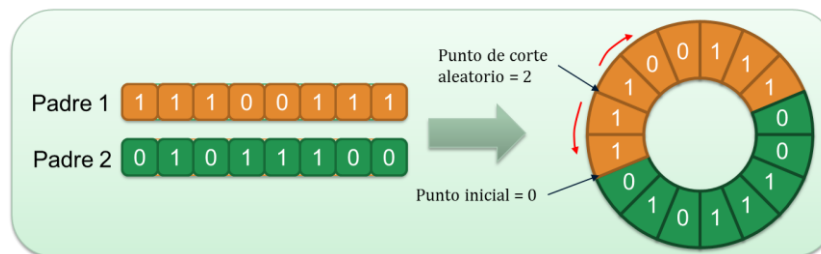
FUNC CrucePlano(padre:Agente, madre:Agente) → Agente
Variables
    hijo : Agente;
Inicio
    PARA i ← 0 HASTA |padre| HACER
        SI padre[i] = madre[i] ENTONCES
            hijo[i] ← padre[i];
        SINO
            hijo[i] ← Generar Aleatorio en {0,1};
        FINSI
    FINPARA
    DEVOLVER hijo;
Fin
  
```

**Figura 15.** Pseudocódigo Cruce Plano

### 3.5 CRUCE DE ANILLO

Este cruce presentado por Kaya et al. [19] propone la combinación en forma de anillo de los cromosomas de los padres. Seguidamente se escoge un punto de corte aleatorio en el anillo formado. Con respecto a dicho punto de corte, el primer hijo es creado en dirección de las manecillas del reloj hasta la longitud de los padres, mientras que el segundo hijo es creado en el sentido contrario a las manecillas del reloj (Ver Figura 16 y Figura 17).

Los buenos resultados registrados y comparados frente a los cruces de uno y dos puntos, hacen que este cruce se incluya en la presente investigación. La Figura 18 muestra el algoritmo que describe esta técnica.



**Figura 16.** Cruce de Anillo – 1

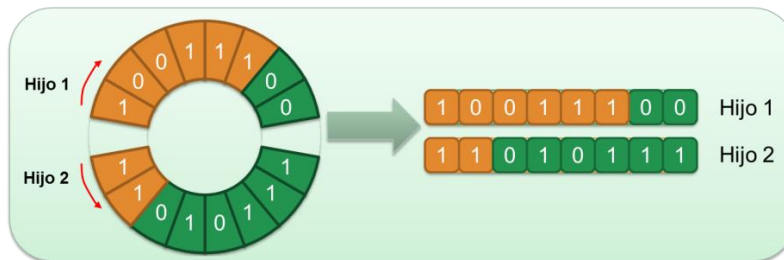


Figura 17. Cruce de Anillo – 2

```

FUNC CruceAnillo (padre:Agente, madre:Agente) → Agente
Variables
    hijo, padreActual : Agente;
    j, s, puntoDeCorte : ℕ;
Inicio
    longitudAnillo ← |padre| + |madre|;
    /* Obtener punto de inicio aleatorio */
    puntoDeCorte ← Generar Aleatorio en [0, longitudAnillo];
    j ← puntoDeCorte;
    s ← 0;
    padreActual ← padre;
    PARA i ← 0 HASTA |padre| HACER
        SI j = longitudAnillo ENTONCES
            j ← 0;
        FINSI
        s ← j;
        SI j >= |padre| ENTONCES
            s ← longitudAnillo - j - 1;
            padreActual ← madre;
        SINO
            padreActual ← padre;
        FINSI
        hijo[i] ← padreActual[s];
        j++;
    FINPARA
    DEVOLVER hijo;
Fin

```

Figura 18. Pseudocódigo Cruce de Anillo

#### 4 OPERADOR DE MUTACIÓN

Este operador juega un rol importante en la introducción de diversidad genética en la población, al alterar, de forma aleatoria, uno o más bits de la estructura de un agente. El proceso de mutación se lleva a cabo, comúnmente, tras el cruce genético, para ser aplicado sobre los nuevos agentes, aunque también, en forma no habitual, puede ser utilizado sobre un agente seleccionado directamente de la población [20]. La cualidad más destacada de este operador es su capacidad para conducir la búsqueda hacia regiones inexploradas del espacio de soluciones, enfrentar las caídas en óptimos locales y restaurar material genético perdido [9, 13, 23, 24]. Debido a ello, debe también tomarse en cuenta que es importante compensarlo con los demás operadores genéticos, evitando que la búsqueda se torne aleatoria. A diferencia del cruce, la mutación es una operación asexual o unaria, que actúa a nivel de agente y no a nivel de población [21]. De esta

manera, este operador considera un agente y decide si realiza o no la modificación de su cromosoma con base en una probabilidad de mutación, la cual es recomendable que sea baja teniendo en cuenta la semejanza con el proceso natural biológico en donde la mutación es poco frecuente. Existen varios métodos para realizar la modificación de un agente, sin embargo, la elección de uno de ellos depende en gran medida de los requerimientos del problema que se aborda, los cuales permitirán decidir si es prudente la utilización pura de una técnica existente o si es necesario algún ajuste para que se adapte mejor. A continuación se describen las técnicas estudiadas en la presente investigación, siendo las mutaciones de bit y multi-bit los métodos que definen en qué magnitud se afectará la estructura de un agente y son utilizados en conjunto con cualquiera de los otros esquemas descritos, los cuales son los que efectivamente realizan la transformación de un agente.

#### 4.1 MUTACIÓN DE INTERCAMBIO

Esta técnica de mutación fue presentada a inicios de los 90 dentro del problema del Agente Viajero [22]. En forma generalizada, este método selecciona aleatoriamente dos posiciones en el cromosoma para que sean intercambiadas y puede ser ajustado para que se lleve a cabo más de un intercambio. Esta estrategia fue propuesta para representaciones reales de las soluciones, sin embargo, puede ser también aplicada para codificación binaria. Dentro de la presente investigación, este enfoque puede ser adaptado, de tal manera que la activación<sup>4</sup> de un bit inactivo del cromosoma de un agente resulte en la desactivación de un bit activo o viceversa (Ver Figura 19).



**Figura 19.** Mutación de Intercambio

El algoritmo que describe el funcionamiento general de este método dentro de esta investigación, puede verse en la Figura 20.

```

FUNC MutacionIntercambio(a:Agente)
Variables
    p,i : N;
Inicio
    p = Generar Aleatorio en [0,|a|];
    SI a[p] = 1 ENTONCES a[p] ← 0;
    SINO a[p] ← 1;
    FINSI
    HACER
        i = Generar Aleatorio en [0,|a|];
        MIENTRAS (i = p OR a[i] <> a[p]);
        SI a[i] = 1 ENTONCES a[i] ← 0;
        SINO a[i] ← 1;
        FINSI
Fin

```

**Figura 20.** Pseudocódigo Mutación de Intercambio

<sup>4</sup> Un bit activo hace referencia a aquel con valor 1, así mismo un bit inactivo o desactivado es aquel con valor 0.

## 4.2 MUTACIÓN DE INSERCIÓN

Este método propone la selección aleatoria de uno de los bits de un cromosoma para que sea eliminado e insertado en otra posición seleccionada arbitrariamente [23, 24].

Esta técnica puede ser adaptada dentro del presente estudio, de tal modo que se seleccione al azar un bit inactivo del agente para que sea activado mientras permita cumplir con las restricciones del problema abordado<sup>5</sup> (Ver Figura 21). Esta adaptación es necesaria para poder diferenciar este método de la mutación de intercambio, ya que si se aplica en su definición pura no habría diferencia entre estos esquemas.



Figura 21. Mutación de Inserción

El algoritmo que describe el funcionamiento general de este método dentro de esta investigación se presenta en la Figura 22.

```
FUNC MutacionInsercion (a:Agente)
Variables
    i: N;
Inicio
    HACER
        i ← Generar Aleatorio en [0, |a|];
    MIENTRAS (a[i] = 1);
        a[i] ← 1;
Fin
```

Figura 22. Pseudocódigo Mutación de Inserción

## 4.3 MUTACIÓN DE BIT

Esta técnica es la más simple y probablemente la más empleada dentro de los esquemas evolutivos. Consiste en la elección aleatoria de uno de los bits de un cromosoma para que su valor sea modificado, de tal manera, que dentro de la codificación binaria, si el valor del bit es 1, su valor es editado por 0 y viceversa [13, 25] (Ver Figura 23). Dentro del presente estudio, este método no siempre será experimentado en su descripción pura, ya que, por las restricciones de longitud del problema que se aborda, algunas veces cuando un bit sea afectado, como consecuencia otro bit también lo será.



Figura 23. Mutación de Bit

<sup>5</sup> La restricción principal enfrentada en este estudio es la de longitud del resumen.

El algoritmo que describe el funcionamiento general de este método dentro de esta investigación se presenta en la Figura 24.

```

FUNC MutacionBit (a:Agente)
Variables
    posicion: N;
Inicio
    posicion ← Generar Aleatorio en [0,|a|];
    Mutacion(a, i);
Fin

```

**Figura 24.** Pseudocódigo Mutación de Bit

#### 4.4 MUTACIÓN MULTI-BIT

Con esta técnica se busca la mutación simultánea de varios bits de un agente. En ella, se analiza cada bit del agente para decidir cuáles bits deben ser modificados y cuáles no, de acuerdo a una segunda probabilidad de mutación. En caso de que un bit deba ser mutado se modifica su valor [13] (Ver Figura 25).



**Figura 25.** Mutación Multi-Bit

El algoritmo que describe el funcionamiento general de este método dentro de esta investigación se presenta en la Figura 26, en el cual, la segunda probabilidad de mutación es establecida con base en un porcentaje del tamaño del agente.

```

FUNC MutacionMultiBit (a:Agente, cantidadBits:N)
Variables
    p : N;
    probMutacionBit : ℝ;
Inicio
    PARA i ← 0 HASTA |a| HACER
        probMutacionBit ← Generar Aleatorio en [0,1];
        SI probMutacionBit < (cantidadBits / |a|) ENTONCES
            Mutacion(a, i);
        FINSI
    FINPARA
Fin

```

**Figura 26.** Pseudocódigo Mutación Multi-Bit

## 5 OPERADOR DE REEMPLAZO

Como se citó anteriormente, al igual que en los esquemas genéticos, en los algoritmos meméticos existen dos factores de gran importancia entre los que se debe establecer un

balance apropiado para lograr una búsqueda efectiva y producir buenas soluciones. Se trata de la diversidad de la población y la presión selectiva, que, de acuerdo a lo que se ha presentado hasta el momento, se afectan mutuamente en forma inversa, pues el aumento de la una implica la disminución de la otra [26]. Teniendo en cuenta este aspecto, es evidente que, al igual que los operadores ya presentados, el operador de reemplazo, siendo el encargado de decidir la eliminación de algunos agentes para la inclusión de otros generados en la etapa de reproducción, es un proceso influyente para lograr dicha compensación. De esta forma, puede decirse que el proceso de reemplazo obliga la competencia entre padres e hijos para decidir su supervivencia en la población.

Las estrategias de reemplazo que se presentan a continuación son las más aplicadas, y su comportamiento fue estudiado dentro de la presente investigación.

## 5.1 REEMPLAZO ALEATORIO

En esta técnica los agentes que serán reemplazados por los hijos generados son escogidos aleatoriamente, sin importar su aptitud [27]. Este esquema es orientado a la conservación de la diversidad de la población. En la Figura 27 se muestra el algoritmo aplicado en el presente estudio para esta estrategia.

```

FUNC ReemplazoAleatorio (a:Agente, k:ℕ)
Variables
    p : ℕ;
Inicio
    p ← Generar Aleatorio en [0,|Poblacion|];
    EliminarDePoblacion(Agentep);
    InsertarEnPoblacion(a);
Fin

```

Figura 27. Pseudocódigo Reemplazo Aleatorio

## 5.2 REEMPLAZO DEL PEOR

En este método se reemplazan los individuos menos aptos de la población por los nuevos agentes [28]. Este esquema contribuye al aumento en la presión selectiva, tratando de mantener las mejores soluciones generadas. En la Figura 28 se muestra el algoritmo adaptado en el presente estudio para esta técnica.

```

FUNC ReemplazoDelPeor (a:Agente, k:ℕ)
Variables
Inicio
    /* Ordenar la población de mayor a menor fitness */
    OrdenarPoblacionPorFitness();
    SI Fitness(Agente|Poblacion| - 1) <= Fitness(a) ENTONCES
        EliminarDePoblacion(Agente|Poblacion| - 1);
        InsertarEnPoblacion(a);
    FINSI
Fin

```

Figura 28. Pseudocódigo Reemplazo del Peor



### 5.3 REEMPLAZO DEL PEOR PADRE

Bajo esta estrategia, se elimina uno de los padres para dar espacio al nuevo hijo engendrado. La decisión de cuál de los padres eliminar se apoya en un criterio predefinido que puede estar basado en los valores de aptitud, diferencia genética, etc. [9]. En la implementación propuesta en esta investigación se utiliza el valor de aptitud para decidir qué padre debe ser eliminado de la población. Este esquema contribuye al aumento en la presión selectiva, pues busca mantener las mejores soluciones generadas. En la Figura 29 se muestran los pasos para este método.

```
FUNC ReemplazoDelPeorPadre (a:Agente, padre:Agente, madre:Agente)
Variables
Inicio
    SI (Fitness(padre) < Fitness(a)) ENTONCES
        SI (Fitness(padre) <= Fitness(madre)) ENTONCES
            EliminarDePoblacion(padre);
            InsertarEnPoblacion(a);
        FINSI
    SINO
        SI (Fitness(madre) < Fitness(a)) ENTONCES
            SI (Fitness(madre) < Fitness(padre)) ENTONCES
                EliminarDePoblacion(madre);
                InsertarEnPoblacion(a);
            FINSI
        FINSI
Fin
```

Figura 29. Pseudocódigo Reemplazo del Peor Padre

### 5.4 REEMPLAZO DEL SIMILAR O CERCANO

Este esquema puede ser aplicado de dos formas. En la primera, se obtiene el valor de aptitud del hijo y se selecciona un conjunto pequeño de  $n$  individuos de la población con aptitud similar dentro de un porcentaje  $\gamma$ , entre ellos, se escoge aleatoriamente el individuo a reemplazar. En la segunda, el individuo con valor de aptitud más cercano al hijo generado es reemplazado [20]. A pesar de que ambos esquemas aplican el mismo principio, para diferenciar las dos adaptaciones, en la presente investigación se denomina *Reemplazo del cercano* al primero (Ver Figura 30), mientras que el segundo es referido como *Reemplazo del similar* (Ver Figura 31).

```
FUNC ReemplazoDeCercano(a:Agente, n:  $\mathbb{N}$ , minPorcentaje:  $\mathbb{R}$ , maxPorcentaje:  $\mathbb{R}$ )
Variables
    Posicion, j:  $\mathbb{N}$ ;
    Candidatos: Agente[];
Inicio
    /*Obtener los n agentes más cercanos en fitness al agente a*/
    Candidatos  $\leftarrow$  ObtenerAgentesFitnessSimilar(a, n, minPorcentaje, maxPorcentaje);
    Posicion  $\leftarrow$  Generar Aleatorio en [0, |Candidatos|];
    EliminarDePoblacion(Candidato[Posicion]);
    InsertarEnPoblacion(a);
Fin
```

Figura 30. Pseudocódigo Reemplazo del Cercano

```

FUNC ReemplazoDeSimilar (a:Agente, n: N)
Variables
    Posicion, j: N;
    Candidatos: Agente[];
Inicio
    /*Obtener los n agentes más cercanos en
    fitness al agente a*/
    Candidatos ← ObtenerAgenteConFitnessSimilar(a, n);
    EliminarDePoblacion(Candidato[Posicion]);
    InsertarEnPoblacion(a);
Fin

```

**Figura 31.** Pseudocódigo Reemplazo del Similar

## 5.5 REEMPLAZO POR COMPETENCIA RESTRINGIDA

Dentro de este método se selecciona un conjunto de  $n$  agentes aleatoriamente y se escoge, entre ellos, el más similar en aptitud al hijo engendrado para que sea reemplazado por él [25]. Este enfoque se asemeja al reemplazo del similar presentado en la sección anterior, por tal razón, en la presente investigación, es adaptado de tal forma que en lugar de reemplazar al más similar se reemplaza el peor agente dentro del conjunto de individuos. Esta adaptación involucra un balance entre diversidad, con la escogencia aleatoria del grupo, y presión selectiva, al eliminar al peor. En la Figura 32 se muestra el algoritmo aplicado en esta propuesta para esta técnica.

```

FUNC ReemplazoCompetenciaRestringida (a:Agente, n: N, TamanoTorneo: N)
Variables
    Competidores: Agente[];
    AgenteSeleccionado: Agente;
Inicio
    PARA j ← 0 HASTA TamanoTorneo HACER
        Posicion ← Generar Aleatorio en [0,|Poblacion|];
        Competidores[j] ← AgentePosicion;
    FINPARA
    AgenteSeleccionado ← PeorFitness(Competidores[j]);
    EliminarDePoblacion(AgenteSeleccionado)
    InsertarEnPoblacion(a);
Fin

```

**Figura 32.** Reemplazo por Competencia Restringida

## 6 OPERADOR DE OPTIMIZACIÓN LOCAL

Las técnicas de búsqueda local son consideradas meta-heurísticas<sup>6</sup> destinadas a trabajar en espacios de búsqueda grandes y cuyo propósito es encontrar una solución óptima con la mayor exactitud y menor costo computacional posibles [29]. La idea general de un mecanismo de búsqueda local es partir de una solución y, por medio de un proceso iterativo y una estrategia definida, reemplazarla por otra mejor en su vecindario, la cual se convertirá, entonces, en la solución actual. Dicho proceso es repetido hasta que ninguna

<sup>6</sup> Las Meta-heurísticas son estrategias generales para diseñar procedimientos heurísticos para resolver un problema de optimización, mediante un proceso de búsqueda en un cierto espacio de soluciones alternativas.

solución del vecindario respectivo mejore a la solución actual. Los cambios aplicados para pasar de una solución a otra son definidos por una *estructura de vecindario* específica, la cual, junto con un *mecanismo de transición*, son el ingrediente esencial para la búsqueda local [30].

Sea  $S$  el espacio de soluciones, una *estructura de vecindario* es una función  $N: S \rightarrow 2^S$  que asigna a cada solución  $s \in S$  un conjunto de vecinos  $N(s) \subseteq S$ . De esta forma,  $N(s)$  es llamado el *vecindario* de  $s$  [31]. La elección de una estructura de vecindario apropiada es crucial para el rendimiento del algoritmo de búsqueda local, por lo que debe ser cuidadosamente diseñada de acuerdo al problema abordado, pues a partir de ella se determina el conjunto de soluciones vecinas que pueden ser alcanzadas desde una solución con un solo paso. Para diseñar una estructura de vecindario es importante tener en cuenta la *cardinalidad del vecindario* y la *distancia entre soluciones* [25]. La primera, hace referencia a la cantidad de soluciones vecinas que pueden alcanzarse desde una solución, de esta forma, una cardinalidad baja permite que la búsqueda local se realice en un tiempo más corto y consumiendo pocos recursos, mientras que si es más alta, la búsqueda local puede explorar más soluciones, pero el costo computacional se incrementa. El segundo aspecto, tiene que ver con el hecho de que las soluciones vecinas deben compartir propiedades para evitar que el proceso de búsqueda se torne netamente aleatorio. Normalmente, una estructura de vecindario no es definida explícitamente listando el conjunto de vecinos posibles, sino *implícitamente* al definir los posibles cambios o movimientos que pueden ser aplicados a una solución. Muchas veces, el orden del vecindario se corresponde con el número de movimientos consecutivos que se realicen a partir de una solución, en ese sentido, un único movimiento se consideraría como una vecindad de primer orden, mientras que si se realizan más movimientos consecutivos se permitirá extender la vecindad [32]. En la codificación binaria, los tipos de movimiento usados con más frecuencia son el cambio del valor de un bit o el intercambio de valores entre dos bits. Así pues, la distancia entre dos soluciones suele estar definida con base en la distancia de Hamming, la cual se define como el número de bits que tienen que cambiarse para transformar un cromosoma válido en otro cromosoma válido, de tal modo que si dos cromosomas difieren en una distancia  $d$ , se necesitan  $d$  cambios para convertir uno en el otro (Ver Figura 33).



**Figura 33.** Ejemplo Distancia de Hamming

En ese sentido, en la presente investigación, dentro de las estrategias de búsqueda local, el tipo de movimiento más utilizado es el de intercambio de bits, que involucra una distancia de Hamming igual a 2, mientras que en unas pocas adaptaciones se usa el cambio de un solo bit, es decir, una distancia de Hamming igual a 1.

Por otro lado, un punto importante dentro de la definición del proceso de búsqueda local, consiste en el *mecanismo de transición* de una solución a otra, la cual puede estar orientada a explorar todos los posibles movimientos de una solución y seleccionar aquel que produzca la mayor mejora (*exhaustivo* o *descendente*), o estar dirigida a examinar, según un orden aleatorio, los movimientos posibles de una solución y escoger el primero que produzca un mejoramiento (*aleatorio* o *ansioso*) [25]. En esta investigación se aplicaron ambos mecanismos de transición dentro de algunas técnicas de búsqueda local, sin embargo, la mayoría está orientada a la búsqueda del mejor.

Finalmente, cabe anotar que por lo general, la solución encontrada por la búsqueda local no será la solución óptima globalmente, sino a nivel local. Así pues, para un problema de maximización, se define un *óptimo local* como una solución  $s$  tal que  $\forall s' \in N(s): f(s) \geq f(s')$  y un *óptimo local estricto* como una solución  $s$  tal que  $\forall s' \in N(s): f(s) > f(s')$ .

A continuación, se describen algunas de las técnicas más sobresalientes en la literatura de búsqueda local, cuyo comportamiento fue indagado dentro de esta investigación. Entre ellas: la *Búsqueda por Entornos Variables*, *Búsqueda Local Guiada*, *Búsqueda Tabú* y *Búsqueda Local Iterativa*, incorporan estrategias para ayudar al mecanismo de búsqueda a enfrentar el problema de estancamiento en óptimos locales.

## 6.1 BÚSQUEDA LOCAL BÁSICA

La búsqueda local básica es la aplicación más elemental del concepto de búsqueda local, y consiste en ejecutar un movimiento sólo si la solución resultante es mejor que la actual, repitiendo este proceso hasta encontrar un óptimo local [33]. De acuerdo al mecanismo de transición utilizado, existen dos formas de implementar esta técnica, conocidas como *el mejor* (o *máxima pendiente*), con una estrategia exhaustiva (Ver Figura 34), y *el primer mejor* (o *hill-climbing*), con una estrategia aleatoria (Ver Figura 35) [25]. En la literatura, la técnica del *mejor* es a veces relacionada con la *búsqueda local voraz* [34], sin embargo, es importante señalar que ambas implementaciones son, por esencia, estrategias voraces [35].

```

FUNC BL_BásicaDelMejor ()
Variables
  s : Agente;
Inicio
  s ← GenerarSolucionInicial();
  MIENTRAS (!Condición de parada)
  HACER
    s' ← MejorMovimiento(s);
    SI f(s') > f(s) ENTONCES
      s ← s';
    FIN_SI
  FIN_MIENTRAS
Fin

```

Figura 34. BL Básica del Mejor

```

FUNC BL_BásicaDelPrimerMejor ()
Variables
  s : Agente;
Inicio
  s ← GenerarSolucionInicial();
  MIENTRAS (!Condición de parada)
  HACER
    s' ← MovimientoAleatorio(s);
    SI f(s') > f(s) ENTONCES
      s ← s';
    FIN_SI
  FIN_MIENTRAS
Fin

```

Figura 35. BL Básica del Primer Mejor

## 6.2 BÚSQUEDA LOCAL POR ENTORNOS VARIABLES

La búsqueda local por entornos variables (VNS por sus siglas en inglés Variable Neighborhood Search) permite cambiar sistemáticamente la estructura de entornos por la

que se realiza la búsqueda. En ese sentido, bajo esta técnica, se exploran vecindarios distantes de la solución actual y se cambia de esta solución a otra sólo si hay una mejora [36]. Existen algunas extensiones de este método que aún mantienen la simplicidad del esquema básico, entre ellas están la *VNS Descendente*, la *VNS Reducida* y la *VNS Básica*, las cuales serán examinadas en las siguientes secciones.

### 6.2.1 Búsqueda local por entornos variables descendente

La búsqueda local por entornos variables descendente (VND por sus siglas en inglés Variable Neighborhood Descent) es una técnica cuyo cambio de estructura de entorno o vecindad se realiza de forma determinista [37]. En ese sentido, aplicando una estrategia descendente, como la Básica del Mejor, se realiza un cambio de estructura de entorno cada vez que se llega a un óptimo local, es decir, cuando ya no es posible encontrar una solución mejor que la actual, obteniendo finalmente un óptimo local que es óptimo con respecto a todas las estructuras de entorno [38]. La aplicación de esta técnica favorece, como la mayoría de esquemas exhaustivos, la explotación o intensificación. La Figura 36 muestra los pasos generales de esta técnica. La mayoría de las veces se utiliza una sola estructura de entorno para realizar el descenso (o algunas veces dos), sin embargo, utilizar más de una estructura de entorno aumenta la posibilidad de alcanzar un óptimo global, aunque, dependiendo del problema, también incrementa sustancialmente la complejidad del enfoque y el costo computacional requerido.

```

FUNC VND ()
Variables
  s : Agente;
Inicio
  s ← GenerarSolucionInicial();
  MIENTRAS (!Condición de parada) HACER
    k ← 1;
    MIENTRAS (k < kmax) HACER
      s' ← MejorVecino(Nk(s));
      SI f(s') > f(s) ENTONCES
        s ← s';
        k ← 1;
      SINO
        k ← k + 1;
      FIN_SI
    FIN_MIENTRAS
  FIN_MIENTRAS
Fin

```

Figura 36. Búsqueda Local por Entornos Variables Descendente

### 6.2.2 Búsqueda local por entornos variables reducida

Dentro de la búsqueda local por entornos variables reducida (RVNS por sus siglas en inglés Reduced Variable Neighborhood Search) los cambios de entorno se realizan en forma estocástica [37]. Es así como esta técnica selecciona puntos aleatorios de la estructura de vecindad, sin seguir un descenso [38], favoreciendo la exploración del espacio de búsqueda. El enfoque aplicado está basado en una estrategia ansiosa, como en la Búsqueda Básica del Primer Mejor, en la cual se selecciona aleatoriamente un vecino de la estructura de entorno actual que se convertirá en la solución actual si presenta una mejora, si no, entonces se cambia a la siguiente. La Figura 37 muestra los pasos de este método.

```

FUNC RVNS ()
Variables
  s : Agente;
Inicio
  s ← GenerarSolucionInicial();
  MIENTRAS (!Condición de parada) HACER
    k ← 1;
    MIENTRAS (k < kmax) HACER
      s' ← VecinoAleatorio(Nk(s));
      SI f(s') > f(s) ENTONCES
        s ← s';
        k ← 1;
      SINO
        k ← k + 1;
    FIN_SI
  FIN_MIENTRAS
Fin

```

Figura 37. Búsqueda Local por Entornos Variables Reducida

### 6.2.3 Búsqueda local por entornos variables básica

La búsqueda local por entornos variables básica (BVNS por sus siglas en inglés Basic Variable Neighborhood Search) es una técnica que realiza cambios de vecindad determinísticos y estocásticos [37], buscando un balance entre la explotación y la exploración. La idea central de este método es combinar la búsqueda local con movimientos aleatorios sistemáticos sobre la estructura de vecindad [38]. De esta manera, se selecciona aleatoriamente un vecino del entorno actual y se le aplica un mecanismo interno de búsqueda local, si el agente obtenido es mejor que la solución actual entonces pasa a reemplazarla, de lo contrario se realiza un cambio de entorno. La técnica interna de búsqueda local puede ser una estrategia Básica o una VND [37]. La Figura 38 muestra los pasos de este método.

```

FUNC BVNS ()
Variables
  s : Agente;
Inicio
  s ← GenerarSolucionInicial();
  MIENTRAS (!Condición de parada) HACER
    k ← 1;
    MIENTRAS (k < kmax) HACER
      s' ← VecinoAleatorio(Nk(s));
      s'' ← BusquedaLocal(s');
      SI f(s'') > f(s) ENTONCES
        s ← s'';
        k ← 1;
      SINO
        k ← k + 1;
    FIN_SI
  FIN_MIENTRAS
Fin

```

Figura 38. Búsqueda Local por Entornos Variables Básica

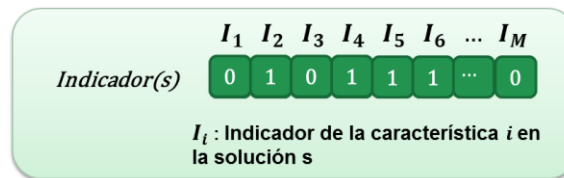
### 6.3 BÚSQUEDA LOCAL GUIADA

La búsqueda local guiada (GLS por sus siglas en inglés Guided Local Search) es un mecanismo de optimización propuesto por Voudouris y Tsang [39], cuyo propósito es guiar la búsqueda hacia zonas prometedoras capturando y explotando la información relacionada con el problema y la búsqueda. De esta manera, la GLS incorpora la utilización de penalizaciones que regularizan las soluciones generadas por la búsqueda local para que estén acordes con la información reunida antes o durante la búsqueda.

Uno de los elementos principales de esta técnica son las *características*, las cuales son predefinidas según el problema. Una característica puede ser cualquier propiedad de las soluciones que sea simple y no trivial, de tal modo que algunas soluciones pueden tener la propiedad mientras otras no. En tal sentido, una característica está representada por una *función indicadora* que señala si una solución posee o no dicha propiedad. En la Ecuación (4) se muestra la función indicadora para una solución  $s$ .

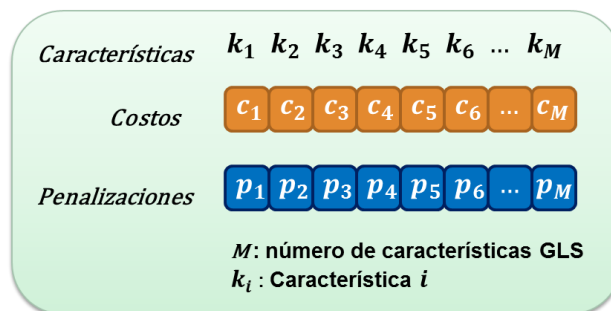
$$Indicador_i(s) \begin{cases} 1, & \text{si la solución } s \text{ tiene la característica } i \\ 0, & \text{de lo contrario} \end{cases} \quad (4)$$

Para facilitar la representación de las características, en algunas investigaciones, se hace uso de arreglos para cada solución que almacenan los valores de la función indicadora de cada característica (Ver Figura 39) [40].



**Figura 39.** Función indicadora de una solución  $s$

Por otro lado, cada característica  $i$  tiene asociado un *costo*  $c_i$  que representa su impacto directo o indirecto sobre la calidad de las soluciones y constituye la fuente de información para la búsqueda. Un costo es representado normalmente como un valor constante, aunque según el problema podría llegar a ser variable. Como se ve en la Figura 40, los costos de cada característica pueden ser almacenados también en un vector.



**Figura 40.** Componentes principales de la GLS

Otro componente importante de la GLS son las *penalizaciones*, las cuales están asociadas, al igual que los costos, a cada característica (Ver Figura 40). Inicialmente, todos los parámetros de penalización se establecen en 0, es decir, no hay características restringidas. Cada vez que una búsqueda local es atrapada en un óptimo local, la GLS puede incrementar el parámetro de penalización de una o más características definidas sobre las soluciones. Si el parámetro de penalización  $p_i$  de una característica  $i$  es incrementado, es decir, la característica  $i$  es penalizada, entonces las soluciones que tengan esta característica serán evitadas en el futuro por la búsqueda local.

El aumento en la penalización está determinado por el valor arrojado por una *función de decisión*<sup>7</sup>. De esta forma, en un problema de maximización de la función objetivo, los parámetros de penalización para un máximo local  $s^*$  son incrementados en uno para todas las características  $i$  que minimicen la expresión de decisión de la Ecuación (5).

$$Decisión(s^*, i) = Indicador_i(s^*) \frac{c_i}{1 + p_i} \quad (5)$$

Por otro lado, el conjunto de penalizaciones restringen la tendencia hacia ciertas características por medio de la modificación de la función objetivo del problema. Para problemas de maximización dicha modificación consta en una disminución del valor de la función objetivo, por lo que la nueva *función objetivo disminuida*<sup>8</sup> puede ser calculada como se ve en la Ecuación (6).

$$h(s) = g(s) - \lambda * \sum_{i=1}^M p_i * Indicador_i(s) \quad (6)$$

Donde  $g(s)$  corresponde al valor de aptitud original de la solución  $s$ ,  $M$  es el número de características definidas para la GLS,  $p_i$  es la penalización correspondiente a la característica  $i$  y  $\lambda$  es un parámetro de regularización. La penalización  $p_i$  establece el grado hasta el cual la característica  $i$  de la solución está restringida.

El parámetro  $\lambda$  representa la importancia relativa de las penalizaciones con respecto al costo de la solución y provee los medios para controlar la influencia de la información sobre el proceso de búsqueda. Cuando se lleva a cabo un movimiento a partir de una solución, se origina una variación  $\Delta g$  en el valor de la función objetivo, de esta manera, la función objetivo disminuida para una solución determinada resulta como se ve en la Ecuación (7).

$$\Delta h = \Delta g - \lambda * \sum_{i=1}^M p_i * \Delta Indicador_i \quad (7)$$

---

<sup>7</sup> Voudouris y Tsang presentan este concepto como *función de utilidad (Utility function)* cuyo valor debería ser maximizado para aumentar las penalizaciones en un problema de minimización.

<sup>8</sup> En la propuesta de Voudouris y Tsang para problemas de minimización, esta función es referida como *Función Objetivo Aumentada*.



En ese sentido, si el valor de  $\lambda$  es muy grande entonces los movimientos seleccionados solamente eliminarán las características penalizadas de la solución y la información determinará completamente el curso de la búsqueda, introduciendo riesgos pues la información puede no ser completamente cierta. Por otro lado, si  $\lambda$  es 0, entonces la búsqueda no podrá escapar de los óptimos locales. De esta manera, según Voudouris y Tsang [39], lo ideal es que el valor de  $\lambda$  sea pequeño y comparable con  $\Delta g$ , así entonces los movimientos seleccionados ayudarán a mejorar la solución y a eliminar las características penalizadas. No obstante, la configuración de  $\lambda$  depende del problema abordado.

En esta investigación, las características de la GLS son representadas por las oraciones de un documento y sus costos están basados en factores que permitan medir la calidad de cada oración en forma individual, como por ejemplo, su posición o su longitud, entre otros. El valor de  $\lambda$ , por su parte, es establecido a partir de la experimentación.

En la Figura 41 se presentan los pasos generales para una GLS.

```

FUNC GLS ()
Variables
  s : Agente;
Inicio
  s ← GenerarSolucionInicial();
  PARA i ← 1 HASTA M HACER
    pi ← 0;
  FIN_PARA
  h ← g - λ * ∑ pi * Indicadori
  MIENTRAS (!Condición de parada) HACER
    s' ← BusquedaLocal(s, h);
    PARA i ← 1 HASTA M HACER
      Desicioni ← Indicadori(s) * ci / (1 + pi);
    FIN_PARA
    PARA CADA i TAL QUE Desicioni es Mínimo HACER
      pi ← pi + 1;
    FIN_PARA
    s ← s';
  FIN_MIENTRAS
  DEVOLVER Mejor solución encontrada con respecto
    a la función objetivo g;
Fin

```

Figura 41. Búsqueda Local Guiada

## 6.4 BÚSQUEDA TABÚ

La Búsqueda Tabú (TS por sus siglas en inglés Tabu Search) fue presentada por primera vez por Glover [41]. El objetivo de este enfoque es guiar la búsqueda local hacia la optimización global, a través de la incorporación de estrategias de aprendizaje. En ese sentido, esta técnica introduce la utilización de una memoria adaptativa que permita mantener la historia del proceso de búsqueda, almacenando todos los movimientos visitados o aquellos que cumplan con alguna condición de acuerdo al problema abordado, los cuales son llamados movimientos tabú. El estado tabú de un movimiento puede ser cambiado con respecto al tiempo o a las condiciones del momento [42]. La premisa básica para la inclusión de memoria en la Búsqueda Tabú es que una mala decisión sistemática es mejor que una decisión tomada al azar, pues el aprendizaje obtenido con tal decisión

puede ayudar a corregir el rumbo de la búsqueda hacia soluciones más prometedoras [42]. De este modo, la TS permite el deterioro del valor de aptitud de una solución actual  $x$ , por medio de un movimiento escogido desde un entorno modificado  $N^*(x)$ , el cual es construido dinámicamente a partir del entorno original  $N(x)$ , excluyendo aquellos vecinos que serían alcanzados por movimientos o atributos tabú, cuando se almacenan en una *memoria a corto plazo*, o adicionando buenas soluciones encontradas durante el proceso de búsqueda, cuando se utiliza *memoria a largo plazo*.

Por otro lado, el uso de la memoria puede ser explícito o implícito. El uso *explícito* implica el almacenamiento de soluciones completas en la memoria, mientras que en el *implícito* se almacenan los atributos que cambian con la realización de un movimiento. Generalmente, la memoria a corto plazo es de tipo implícito, y la memoria a largo plazo es de tipo explícito.

El almacenamiento en una memoria puede realizarse con base en diferentes criterios como son el tiempo transcurrido, la frecuencia, la calidad o la influencia. El criterio del tiempo transcurrido determina el registro de los atributos de soluciones que han sido cambiados durante el pasado reciente. Por su parte, la memoria basada en la frecuencia implica el almacenamiento del número de veces en que un atributo ha sido, o no, cambiado. Con respecto a la memoria basada en calidad, normalmente se registran soluciones con valores de aptitud bajos, mientras que la memoria basada en la influencia toma en cuenta el impacto de las decisiones tomadas a lo largo de la búsqueda, en cuanto a calidad y estructura de las soluciones, para guardar una solución [43]. En algunas ocasiones, cuando la búsqueda se fundamenta en el uso memoria a corto plazo, generalmente con un criterio de inclusión basado en lo reciente, es posible adicionar el uso de un *período tabú* que indique el tiempo durante el cual un movimiento o atributo estará penalizado. Por otro lado, un movimiento penalizado puede cambiar tal estado, a partir del cumplimiento de un *criterio de aspiración*, preestablecido de acuerdo al problema. El criterio de aspiración más utilizado consiste en despenalizar un movimiento cuando permite alcanzar mayor calidad que la alcanzada hasta el momento. En la Figura 42 se presentan, en forma general, los pasos de este método.

```

FUNC Tabu ()
Variables
  s : Agente;
Inicio
  s ← GenerarSolucionInicial();
  H ← ∅; //Historia de búsqueda
  MIENTRAS (!Condición de parada) HACER
    k ← 1;
    MIENTRAS (k < kmax) HACER
      s' ← MejorVecino(Nk(H, s));
      SI f(s') > f(s) ENTONCES
        s ← s';
        k ← 1;
      SINO
        k ← k + 1;
      FIN_SI
    Actualizar(H);
  FIN_MIENTRAS
FIN_MIENTRAS
Fin

```

Figura 42. Búsqueda Tabú

En esta investigación se estudia el uso de memoria a corto y largo plazo, así como memoria basada en calidad y frecuencia. En cuanto a los criterios de aspiración se estudia aquellos basados en tiempo y calidad.

## 6.5 BÚSQUEDA LOCAL ITERATIVA

La búsqueda local iterativa (ILS por sus siglas en inglés Iterated Local Search) es una técnica propuesta por Lourenco et al [44]. El propósito de este método es explorar el espacio de búsqueda mediante un recorrido que lleve de una solución a otra sin la restricción de usar sólo los vecinos más cercanos. De esta forma, el proceso inicia con una solución inicial  $s_0$  la cual es optimizada por medio de algún mecanismo de búsqueda local, obteniendo un óptimo local  $s^*$ . Así, a partir de la aplicación de una acción de *perturbación* sobre  $s^*$  se obtiene una solución intermedia  $s'$  la cual es también optimizada por la búsqueda local para llegar a una solución  $s'^*$ . Si  $s'^*$  aprueba un *criterio de aceptación*, generalmente basado en el valor de aptitud, entonces se convierte en la nueva solución actual  $s^*$ . En la Figura 43 se muestra el pseudocódigo del proceso descrito, cuyo criterio de aceptación se basa precisamente en el valor de aptitud.

```

FUNC ILS ()
Variables
    s : Agente;
Inicio
    s0 ← GenerarSolucionInicial();
    s* = BúsquedaLocal(s0);
    MIENTRAS (!Condición de parada) HACER
        s' ← Perturbacion(s*);
        s*' ← BusquedaLocal(s');
        SI f(s*' ) > f(s*) ENTONCES
            s* ← s*' ;
        FIN_SI
    FIN_MIENTRAS
Fin

```

**Figura 43.** Búsqueda Local Iterativa

La estrategia de la ILS para escapar de óptimos locales y alcanzar nuevas soluciones se fundamenta en la inclusión de perturbaciones en el proceso de búsqueda. Una perturbación consiste en la alteración de algunos componentes de una solución. En la representación binaria la estrategia más común es el cambio en el valor de algunos bits de la solución, la cual es aplicada en esta investigación. El grado en que una solución es afectada por la aplicación de una perturbación es determinada por una *fuerza de perturbación* que especifica el porcentaje de componentes de la solución que serán alterados. De esta manera, es importante tener en cuenta que aplicar perturbaciones muy grandes conduciría a una exploración casi aleatoria del espacio de búsqueda, mientras que si se aplican perturbaciones muy pequeñas se explorarían pocas soluciones y no se lograría escapar de óptimos locales [45].

En esta investigación, la fuerza de perturbación se refleja en la distancia de Hamming entre la solución actual y la perturbada.

## 7 ANÁLISIS PRELIMINAR DE LOS OPERADORES DEL MA

A continuación se presenta un cuadro resumen por cada uno de los operadores descritos, donde se mencionan las ventajas y desventajas más notables en cada una de las técnicas presentadas, con el fin de señalar los métodos con mejores cualidades de acuerdo a la teoría, sin embargo, cabe anotar que los mejores métodos para el problema abordado fueron definidos de acuerdo a los resultados obtenidos posteriormente, tras la experimentación.

OPERADOR DE SELECCION		
MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>POR RUEDA DE RULETA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ No es posible seleccionar consecutivamente el mismo agente, contribuyendo con la diversidad genética.</li> <li>▪ Se puede adaptar para que la probabilidad de seleccionar agentes que no sean muy cercanos en la población sea alta, favoreciendo la exploración del espacio de soluciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Riesgo de convergencia prematura cuando hay una diferencia muy grande entre las aptitudes de la población.</li> <li>▪ Riesgo de estancamiento en óptimos locales si los valores de aptitud de la población son muy similares.</li> <li>▪ Cuando se hace la aplicación pura de este método, puede ser deficiente a medida que aumenta el tamaño de la población (complejidad <math>O(n^2)</math>), debido a la necesidad de ordenamiento y cálculos de probabilidad.</li> </ul>
<i>POR TORNEO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Busca un balance entre diversidad y presión selectiva, debido a que no está basada completamente en los valores de aptitud pues incluye un factor de aleatoriedad al escoger los agentes competidores.</li> <li>▪ Bajo costo computacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La velocidad de convergencia puede verse degradada.</li> </ul>
<i>BASADO EN EL RANGO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto balance entre diversidad y presión selectiva.</li> <li>▪ Evita que agentes muy aptos ganen dominancia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Puede ser costoso computacionalmente debido a la necesidad de ordenar la población y al cálculo adicional del rango escalado.</li> </ul>
<i>ELITISTA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo costo computacional</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto riesgo de convergencia prematura</li> </ul>
<i>EMPAREJAMIENTO RESTRINGIDO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Contribuye a la diversidad debido a que no está basada completamente en los valores de aptitud.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La velocidad de convergencia puede verse degradada.</li> </ul>

**Tabla 1.** Análisis Operador de Selección

OPERADOR DE CRUCE		
MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>DE UN PUNTO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simplicidad y capacidad de conservar la aptitud presente en los padres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sesgo o tendencia posicional.</li> </ul>
<i>DE N PUNTOS</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Simplicidad y capacidad de conservar el material genético presente en los padres, lo cual tiene un mayor beneficio cuando éstos poseen una aptitud alta.</li> <li>Aumenta la exploración del espacio de soluciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Demasiados puntos de corte puede ocasionar corrupción de los agentes y retrasar la obtención de soluciones prometedoras.</li> </ul>
<i>UNIFORME</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fomenta la diversidad de la población.</li> <li>No presenta sesgo posicional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Podría presentarse corrupción de las soluciones debido a la aleatoriedad.</li> </ul>
<i>PLANO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Amplía el espacio de búsqueda.</li> <li>Más diversidad con menos pérdida de las cualidades de los padres.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Si los padres comparten pocos componentes, se puede degradar la velocidad de convergencia por la introducción excesiva de aleatoriedad.</li> </ul>
<i>DE ANILLO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Puede obtenerse más variedad de hijos que con otras técnicas de corte.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sesgo posicional.</li> </ul>

**Tabla 2.** Análisis Operador de Cruce

OPERADOR DE MUTACIÓN		
MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>DE BIT</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aplicación simple</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poca introducción de nueva información.</li> </ul>
<i>MULTI-BIT</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posibilidad de aumentar más la diversidad de la población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Según su magnitud, puede conducir a la pérdida de buenas cualidades</li> </ul>

**Tabla 3.** Análisis Operador de Mutación

OPERADOR DE REEMPLAZO		
MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>ALEATORIO</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Conservación de la diversidad de la población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Degradación de la velocidad de convergencia.</li> </ul>
<i>DEL PEOR</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento en la presión selectiva.</li> <li>Posibilidad de mantener las mejores soluciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posibilidad de convergencia prematura por predominancia de los mejores agentes</li> </ul>
<i>DEL PEOR PADRE</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aumento en la presión selectiva.</li> <li>Posibilidad de mantener las mejores soluciones.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Posibilidad de convergencia prematura.</li> <li>Posibilidad de perpetuación de material genético.</li> </ul>
<i>DEL CERCANO O SIMILAR</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contribuye a mantener la diversidad de la población.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Riesgo de estancamiento en óptimos locales.</li> </ul>
<i>COMPETENCIA RESTRINGIDA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bajo costo computacional</li> <li>Balance entre diversidad y presión selectiva</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>La velocidad de convergencia puede verse degradada.</li> </ul>

**Tabla 4.** Análisis Operador de Reemplazo

OPERADOR DE BÚSQUEDA LOCAL		
MÉTODO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
<i>BÁSICA DEL MEJOR</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Simplicidad</li> <li>▪ Orientada a mantener las mejores soluciones.</li> <li>▪ Introduce presión selectiva.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibilidad de caer en óptimos locales.</li> <li>▪ Posibilidad de convergencia prematura.</li> </ul>
<i>BÁSICA ALEATORIA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beneficia la diversidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibilidad de degradar la velocidad de convergencia.</li> </ul>
<i>VND</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Ayuda a mantener las mejores soluciones</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibilidad de caer en máximos locales.</li> <li>▪ Posibilidad de convergencia prematura.</li> </ul>
<i>RVNS</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Beneficia la diversidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibilidad de degradar velocidad de convergencia.</li> </ul>
<i>BVNS</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Balance entre diversificación e intensificación.</li> <li>▪ Ayuda a salir de óptimos locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento en complejidad y costo computacional.</li> </ul>
<i>GUIADA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Balance entre diversificación e intensificación.</li> <li>▪ Utiliza información del problema y de la búsqueda.</li> <li>▪ Previene el estancamiento en óptimos locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento en complejidad y costo computacional.</li> </ul>
<i>TABÚ</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Utiliza información del transcurso de la búsqueda.</li> <li>▪ Previene el estancamiento en óptimos locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento en complejidad y costo computacional.</li> </ul>
<i>ITERATIVA</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Balance entre diversificación e intensificación.</li> <li>▪ Previene el estancamiento en óptimos locales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Aumento en complejidad y costo computacional.</li> </ul>

**Tabla 5.** Análisis Operador de Búsqueda Local

De acuerdo al estudio realizado y conforme a las características, ventajas y desventajas presentadas de cada método, se identificaron los métodos que, teóricamente, podrían adaptarse al problema abordado y ayudar a conseguir un balance entre los procesos de exploración y explotación, conduciendo a buenos resultados. Tales métodos son presentados en la Tabla 6, junto a otros, destacados por la simplicidad en su implementación. Gran parte de los ciclos experimentales posteriores está orientada a la discriminación del comportamiento, dentro del problema abordado, entre las técnicas más simples y aquellas con estrategias un poco más elaboradas.

Operador	Método más prometedor	Método más simple
<i>Selección</i>	Basada en el Rango	Aleatoria
<i>Cruce</i>	Cruce Uniforme	Cruce de un punto
<i>Mutación</i>	Mutación Multi-Bit	Mutación de bit
<i>Reemplazo</i>	Competencia Restringida	Competencia Restringida
<i>Optimización Local</i>	Búsqueda Local Guiada	Búsqueda Local Básica

**Tabla 6.** Métodos destacados según el estudio realizado

## 8 CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DEL MA

Para llegar a la configuración del algoritmo memético que conduzca a los mejores resultados para el problema abordado no basta con seleccionar los métodos cuyas características sugieren un buen desempeño, ciertamente es necesario ejecutar una parte experimental que verifique si tales cualidades, ajustadas al problema, conducen a buenos resultados. La experimentación además permitirá analizar el comportamiento de cada método al acoplarse con otros de los demás operadores, pues, como en cualquier sistema, el mejor desempeño del algoritmo no siempre se obtendrá con las mejores técnicas de los operadores, sino con aquellas que logren el mejor comportamiento sinérgico. De esta forma, el primer ciclo experimental se inicia con un esquema conformado por los métodos más simples, con el cual se pretende confirmar, tras cada experimentación, si la incorporación de estrategias más refinadas mejoran los resultados presentados por el MA, analizando además, paso a paso, cuales esquemas presentan un mejor acoplamiento. Así pues, el esquema preliminar del algoritmo memético es el mostrado en la Tabla 7.

Operador	Método
<i>Selección padre</i>	No establecido
<i>Selección madre</i>	No establecido
<i>Cruce</i>	Cruce de un Punto
<i>Mutación Externa</i>	Mutación de Bit
<i>Mutación Interna</i>	Mutación de Inserción
<i>Reemplazo</i>	Competencia Restringida
<i>Optimización Local</i>	Búsqueda Local Básica del Mejor

**Tabla 7.** Configuración preliminar del Algoritmo Memético propuesto

El establecimiento de los métodos de selección para padre y madre es uno de los primeros pasos en el ciclo de definición de operadores reproductivos, por tal motivo son los únicos que no son determinados dentro de la configuración preliminar del algoritmo memético.

***ANEXO B – DEFINICIÓN DE LOS  
OPERADORES REPRODUCTIVOS DEL MA***

---



## 1 CONFIGURACIÓN INICIAL DE OPERADORES

Con base en la configuración preliminar del algoritmo memético presentada en la Tabla 8, se inició el ciclo de determinación de los operadores reproductivos que conformarían el esquema final (Para detalles sobre la configuración inicial de operadores ir al Anexo A).

Operador	Método
<i>Selección padre</i>	No establecido
<i>Selección madre</i>	No establecido
<i>Cruce</i>	Cruce de un Punto
<i>Mutación Externa</i>	Mutación de Bit
<i>Mutación Interna</i>	Mutación de Inserción
<i>Reemplazo</i>	Competencia Restringida
<i>Optimización Local</i>	Búsqueda Local Básica del Mejor

**Tabla 8.** Configuración preliminar del MA para iniciar la definición de operadores reproductivos

Los métodos de selección para padre y madre son abordados en la primera etapa de este proceso, por tal razón, son los únicos que no son establecidos dentro de la configuración preliminar del algoritmo memético.

Para llevar a cabo este proceso de definición de operadores se utilizaron sólo 10 conjuntos de datos de la colección de documentos de la conferencia DUC del año 2002 (DUC 2002), es decir, sólo 70 documentos en total<sup>9</sup>. La decisión de trabajar inicialmente con una pequeña parte de los documentos, fue debido al tamaño considerable del conjunto total de datos de DUC 2002. Dicho aspecto, es crítico en esta investigación, recordando que está orientada a la generación de resúmenes de un solo documento, lo que implica más costo en tiempo de ejecución al tener que evaluar mayor número de resúmenes. Así mismo, el número de características seleccionadas para analizar el desempeño de la función objetivo es relativamente amplio, incidiendo también en el incremento del tiempo de ejecución.

## 2 PRIMERA ETAPA: Definición Del Operador De Selección

La primera etapa de este proceso corresponde a la definición del operador de selección, en la cual se establecen los métodos con los que se elegirán los agentes padre y madre que participarán en la fase de reproducción del algoritmo. Teniendo en cuenta que el rendimiento del algoritmo memético depende en gran parte de la relación sinérgica entre los operadores que lo conforman, es importante, para esta investigación, considerar la aplicación de una combinación de técnicas de selección de padre y madre que mejoren el desempeño del algoritmo. En ese sentido, no debe presumirse que la técnica utilizada para la selección de un padre sea la misma que para el otro, pues aun cuando un método presente un buen desempeño, no existe garantía de que aplicado a ambos procesos conduzca a los mejores resultados. Por esta razón, se hace indispensable estudiar el comportamiento de los diferentes métodos de selección sobre cada progenitor. Así pues,

<sup>9</sup> Correspondiente a los conjuntos D061j, D62j, D063j, D066j, D067j, D070j, D071f, D074b, D097e, D113h, que abarcan aproximadamente al 12% del total de documentos.

la definición del operador de selección se dividió en seis grupos. Cada grupo, considera un método de selección para el padre, mientras lo combina con siete métodos diferentes de selección para la madre. Los demás operadores reproductivos del algoritmo permanecen invariantes durante esta etapa, con el fin de enfocar el análisis sólo en la discriminación del desempeño de cada pareja de técnicas de selección, y obtener las dos combinaciones con mejor comportamiento de cada grupo, es decir, doce combinaciones en total para esta etapa.

## 2.1 CONFIGURACIONES DE LOS MÉTODOS DE SELECCIÓN

### 2.1.1 PRIMER GRUPO: Torneo Probabilístico

En este grupo, se utilizó el método de *Torneo Probabilístico* para seleccionar el padre, y se analizó su comportamiento al acoplarse con diferentes métodos para seleccionar la madre. En la Tabla 9 se listan las parejas con los esquemas de selección de cada experimento<sup>10</sup>, y el resultado obtenido para las tres medidas de ROUGE. Además con el fin de facilitar el análisis de los resultados, las Figuras 44, 45 y 46 muestran gráficamente las medidas de ROUGE para los experimentos del 1 al 7.

Selección Padre		Torneo Probabilístico								
Exp.	Selección Madre	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	Aleatorio	0,450456	0,452080	0,451167	0,197255	0,198005	0,197589	0,217902	0,218765	0,218286
2	Rueda De Ruleta	0,451267	0,452829	0,451946	0,198000	0,198716	0,198317	0,218531	0,219357	0,218896
3	Torneo Probabilístico	0,450690	0,452272	0,451380	0,197084	0,197829	0,197416	0,217637	0,218482	0,218012
4	<b>Torneo Determinístico</b>	<b>0,451713</b>	<b>0,453312</b>	<b>0,452413</b>	<b>0,198671</b>	<b>0,199407</b>	<b>0,198999</b>	<b>0,218924</b>	<b>0,219770</b>	<b>0,219300</b>
5	Basada En Rango	0,449800	0,451274	0,450438	0,198158	0,198819	0,198448	0,218413	0,219192	0,218755
6	<b>Rango Aleatorio</b>	<b>0,452546</b>	<b>0,454194</b>	<b>0,453269</b>	<b>0,198737</b>	<b>0,199495</b>	<b>0,199075</b>	<b>0,219389</b>	<b>0,220271</b>	<b>0,219782</b>
7	Emparejamiento Restringido	0,450513	0,452108	0,451213	0,197627	0,198372	0,197960	0,218104	0,218967	0,218490

Tabla 9. Resultados del primer grupo de experimentos del operador de selección

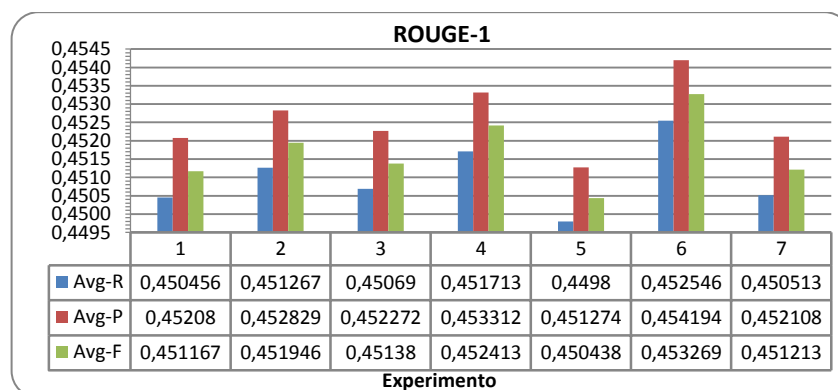
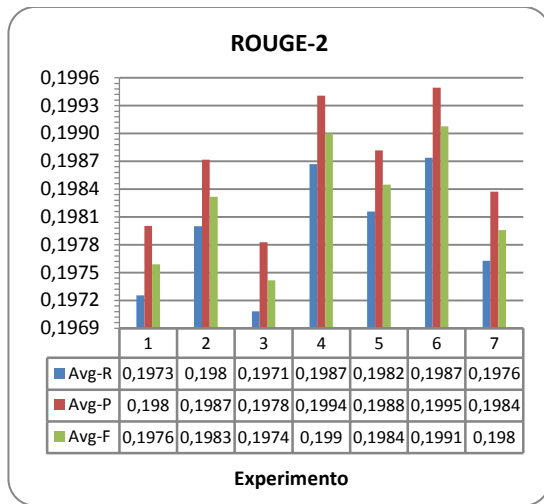
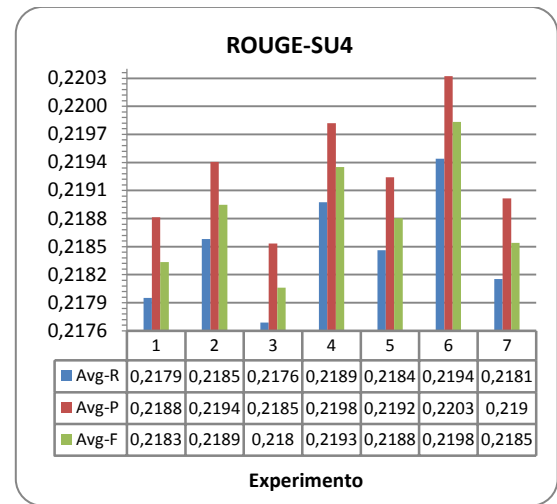


Figura 44. Primer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1

<sup>10</sup> El término “experimento” o “experimentación” utilizado a lo largo de este documento hace referencia al proceso de prueba del algoritmo con cierta configuración de operadores.



**Figura 45.** Primer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2



**Figura 46.** Primer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, se observa que el método de *Torneo Probabilístico*, como operador de selección para el padre, se desempeña mejor, al trabajar con dos métodos de selección de la madre, correspondientes a *Rango Aleatorio* y *Torneo Determinístico*, considerados en los Experimentos 6 y 4, respectivamente. De esta manera, estos dos experimentos se convierten en *candidatos* para pasar a la etapa de definición del siguiente operador reproductivo.

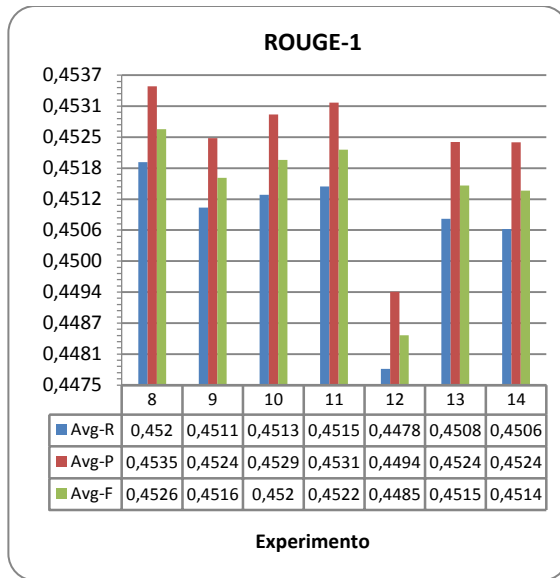
### 2.1.2 SEGUNDO GRUPO: Torneo Determinístico

Para definir este grupo, se utilizó el *Torneo Determinístico* como método de selección para el padre. En la Tabla 10, se muestran las parejas de métodos de selección a las que responden estos experimentos y los resultados respectivos.

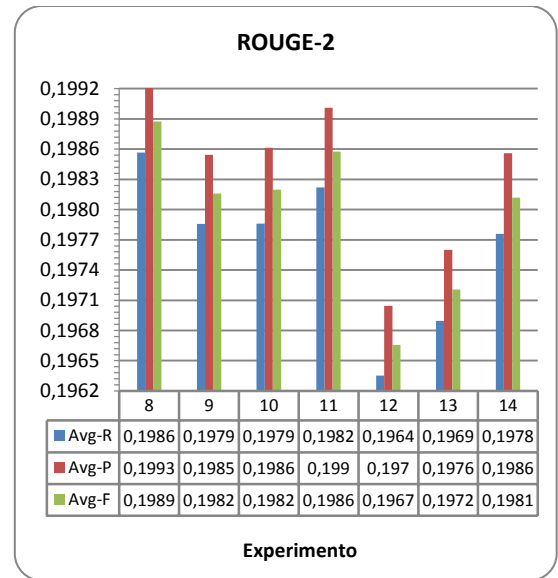
Selección Padre		Torneo Determinístico								
Exp.	Selección Madre	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
8	Aleatorio	0,451958	0,453480	0,452619	0,198566	0,199265	0,198875	0,218957	0,219766	0,219315
9	Rueda De Ruleta	0,451053	0,452438	0,451645	0,197857	0,198544	0,198160	0,218549	0,219324	0,218889
10	Torneo Probabilístico	0,451305	0,452914	0,452008	0,197861	0,198614	0,198197	0,218421	0,219286	0,218806
11	<b>Torneo Determinístico</b>	<b>0,451472</b>	<b>0,453149</b>	<b>0,452210</b>	<b>0,198219</b>	<b>0,199011</b>	<b>0,198574</b>	<b>0,218839</b>	<b>0,219747</b>	<b>0,219245</b>
12	Basada En Rango	0,447825	0,449370	0,448495	0,196351	0,197045	0,196657	0,216627	0,217440	0,216985
13	Rango Aleatorio	0,450829	0,452362	0,451495	0,196895	0,197599	0,197206	0,217842	0,218667	0,218207
14	Emparejamiento Restringido	0,450624	0,452354	0,451391	0,197758	0,198559	0,198119	0,218297	0,219214	0,218709

**Tabla 10.** Resultados del segundo grupo de experimentos del operador de selección

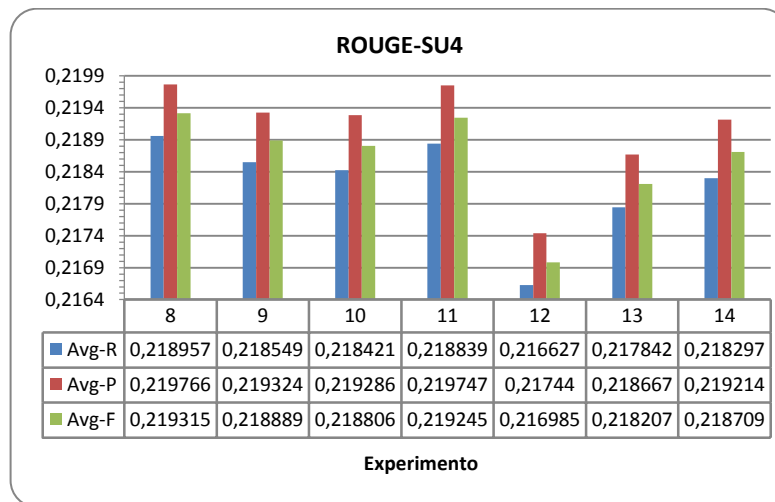
En las Figuras 47, 48 y 49 se presentan gráficamente los resultados de los experimentos de este grupo.



**Figura 47.** Segundo grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1



**Figura 48.** Segundo grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2



**Figura 49.** Segundo grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, los Experimentos 8 y 11 presentan el mejor comportamiento en las tres medidas de ROUGE, y corresponden a los métodos *Aleatorio* y *Torneo Determinístico*, así, se convierten en candidatos para pasar a la etapa de definición del operador de cruce.

### 2.1.3 TERCER GRUPO: Basada En Rango

En este grupo, se utilizó el método *Basado en el Rango* para seleccionar el padre, y se analizó su comportamiento en acoplamiento con diferentes métodos para seleccionar la madre. En la Tabla 11, se muestran las parejas de los métodos de selección y sus resultados.

Selección Padre		Basada En Rango								
Exp.	Selección Madre	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
15	Aleatorio	0,451659	0,453217	0,452337	0,197939	0,198673	0,198266	0,218558	0,219393	0,218928
16	Rueda De Ruleta	0,451735	0,453379	0,452455	0,198729	0,199505	0,199076	0,219114	0,220003	0,219510
17	Torneo Probabilístico	0,451194	0,452917	0,451953	0,198291	0,198457	0,198661	0,218779	0,219710	0,219196
18	Torneo Determinístico	0,450292	0,451740	0,450916	0,197767	0,198457	0,198072	0,218253	0,219049	0,218604
19	Basada En Rango	0,447447	0,448990	0,448119	0,195788	0,196558	0,196134	0,216254	0,217127	0,216644
20	Rango Aleatorio	0,451027	0,452496	0,451662	0,198571	0,199256	0,198873	0,219075	0,219875	0,219428
21	Emparejamiento Restringido	0,451322	0,452804	0,451964	0,198219	0,198906	0,198523	0,218721	0,219515	0,219072

Tabla 11. Resultados del tercer grupo de experimentos del operador de selección

Los resultados de todos los experimentos de este grupo se presentan gráficamente en las Figuras 50, 51 y 52.

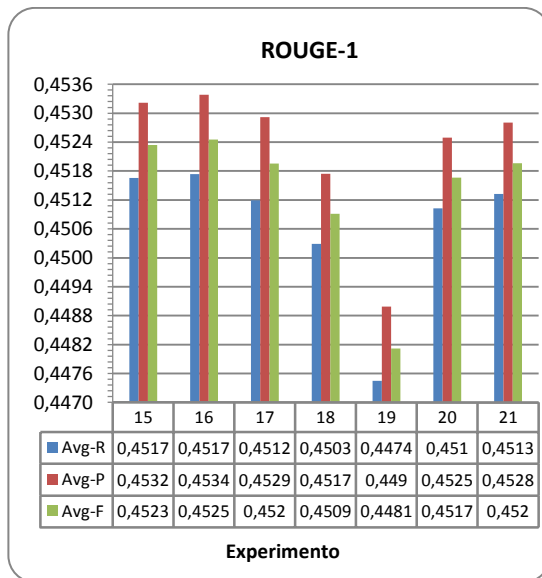


Figura 50. Tercer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1

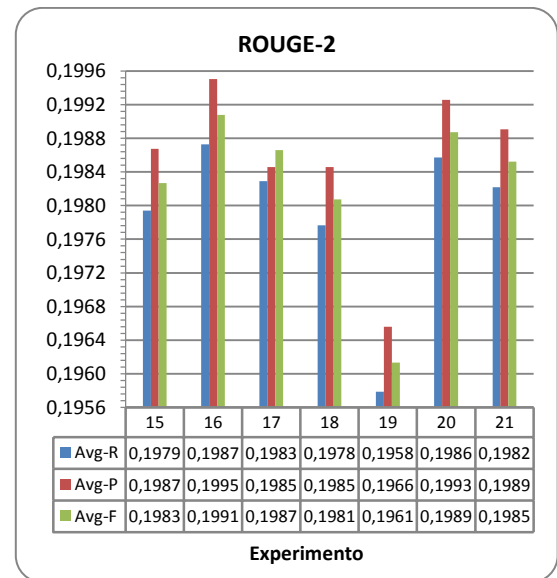
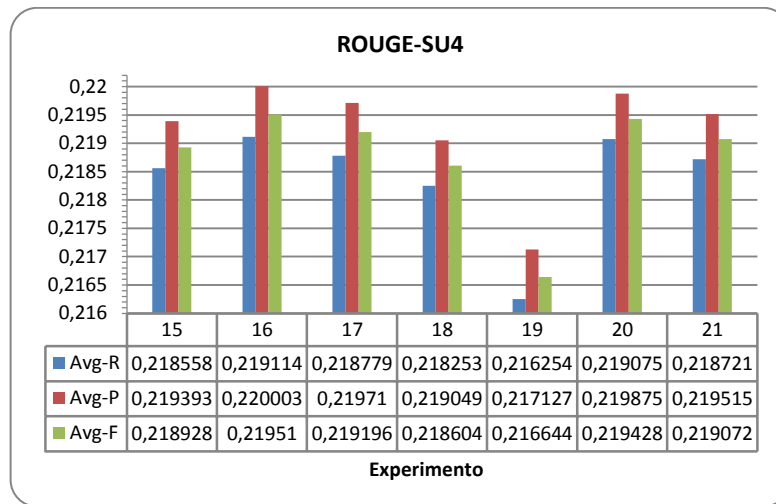


Figura 51. Tercer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2



**Figura 52.** Tercer grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4

En este caso, se observa que el mejor desempeño es presentado por el Experimento 16, destacándose en las tres medidas de ROUGE. En segundo lugar, sobresale el Experimento 20, pues aunque el experimento 15 presenta un buen resultado en la medida de R1, éste logra superarlo en dos medidas: R2 y RSU4. De esta manera, las configuraciones *candidatas* de este grupo para pasar a la etapa de definición del siguiente operador reproductivo corresponden a los métodos *Rueda de Ruleta* (Exp. 16) y *Rango Aleatorio* (Exp.20).

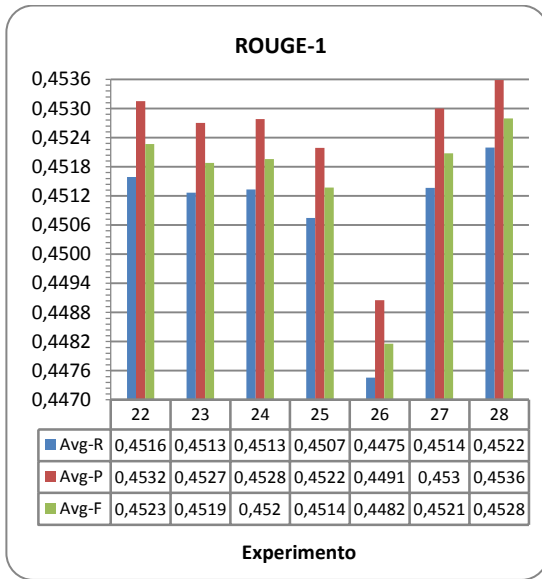
#### 2.1.4 CUARTO GRUPO: Rueda de Ruleta

En este grupo se evaluó la combinación del método *Rueda de Ruleta* para seleccionar el padre con diferentes métodos de selección de la madre. En la Tabla 12, se muestran estos experimentos y sus respectivos resultados.

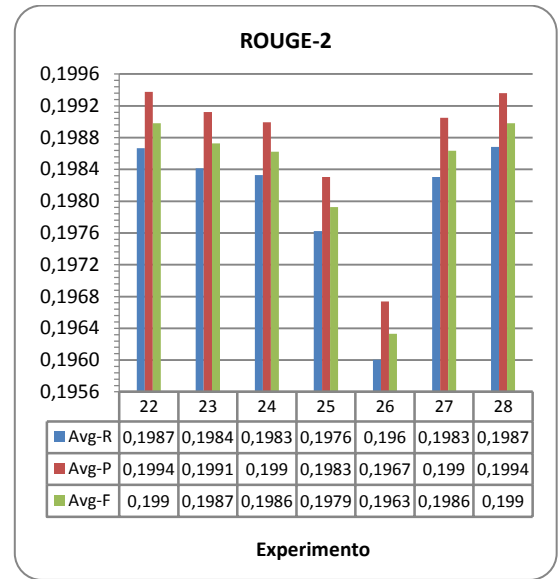
Selección Padre		Rueda De Ruleta								
Exp.	Selección Madre	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
22	Aleatorio	0,451588	0,453151	0,452268	0,198666	0,199377	0,198981	0,218738	0,219560	0,219101
23	Rueda De Ruleta	0,451265	0,452701	0,451883	0,198414	0,199124	0,198728	0,218594	0,219389	0,218944
24	Torneo Probabilístico	0,451332	0,452781	0,451957	0,198329	0,198995	0,198622	<b>0,218855</b>	<b>0,219623</b>	<b>0,219193</b>
25	Torneo Determinístico	0,450746	0,452193	0,451370	0,197625	0,198303	0,197924	0,218048	0,218832	0,218393
26	Basada En Rango	0,447455	0,449053	0,448154	0,196004	0,196739	0,196332	0,216361	0,217216	0,216742
27	Rango Aleatorio	0,451366	0,452998	0,452079	0,198303	0,199048	0,198634	0,218443	0,219304	0,218825
28	Emparejamiento Restringido	0,452196	0,453585	0,452793	0,198682	0,199360	0,198982	0,219045	0,219817	0,219385

**Tabla 12.** Resultados del cuarto grupo de experimentos del operador de selección

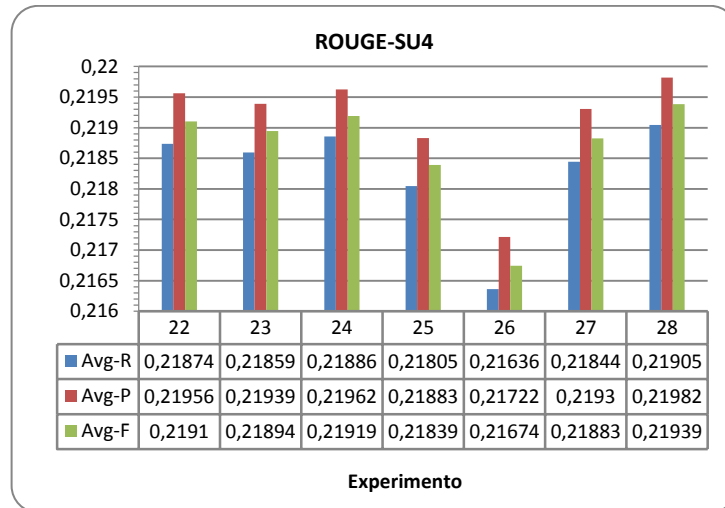
Los resultados de todos los experimentos de este grupo se presentan gráficamente en las Figuras Figura 53, Figura 54 y Figura 55.



**Figura 53.** Cuarto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1



**Figura 54.** Cuarto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2



**Figura 55.** Cuarto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4

En los resultados de este grupo se observa que el mejor desempeño es presentado por el Experimento 28, pues predomina en las medidas de R1 y RSU4, y en R2 sólo es superado por el Experimento 22 en el valor de precisión. Así, el experimento 22 sobresale en segundo lugar en las medidas de R1 y R2, y ocupa el tercer puesto en SU4. De este modo, para este grupo las configuraciones *candidatas* para pasar a la etapa de definición del siguiente operador reproductivo, corresponden a los métodos *Aleatorio* (Exp. 22) y *Emparejamiento Restringido* (Exp.28).

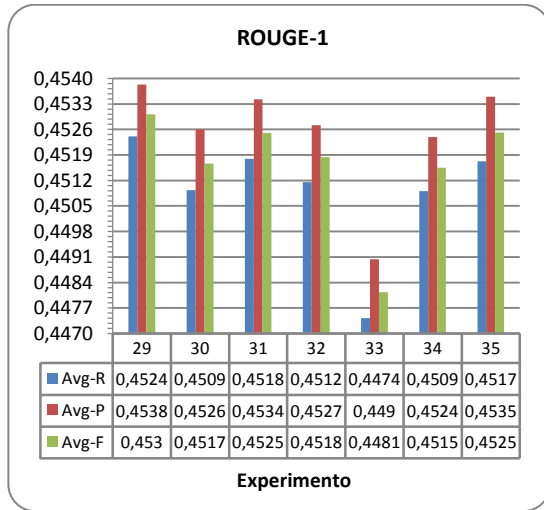
### 2.1.5 QUINTO GRUPO: Rango Aleatorio

En este grupo, se utilizó el método de *Rango Aleatorio* para seleccionar el padre, y analizar su comportamiento con otros métodos para seleccionar la madre. El método estudiado en este grupo, es una adaptación de la técnica de selección Basada en el Rango. En esta implementación, para seleccionar un agente, los rangos calculados se recorren en forma aleatoria, en lugar de hacerlo en forma secuencial como lo hace el método Basado en el Rango. En la Tabla 13, se muestran las parejas de los métodos de selección a las que responden estos experimentos y los resultados correspondientes.

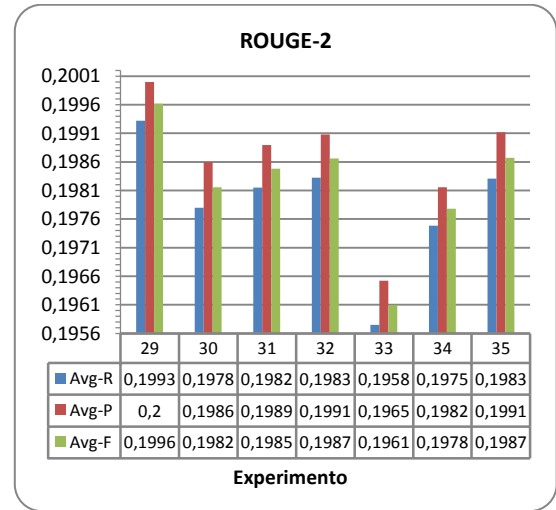
Exp.	Selección Padre Selección Madre	Rango Aleatorio								
		R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
29	Aleatorio	0,452407	0,453835	0,453020	0,199320	0,200000	0,199619	0,219517	0,220299	0,219860
30	Rueda De Ruleta	0,450931	0,452599	0,451665	0,197796	0,198600	0,198158	0,218482	0,219385	0,218886
31	Torneo Probabilístico	0,451794	0,453427	0,452510	0,198151	0,198895	0,198483	0,218610	0,219472	0,218994
32	Torneo Determinístico	0,451155	0,452718	0,451836	0,198326	0,199079	0,198662	0,218613	0,219469	0,218993
33	Basada En Rango	0,447422	0,449041	0,448129	0,195750	0,196519	0,196094	0,216293	0,217179	0,216687
34	Rango Aleatorio	0,450908	0,452388	0,451545	0,197487	0,198155	0,197779	0,218345	0,219123	0,218685
35	Emparejamiento Restringido	0,451726	0,453496	0,452512	0,198307	0,199121	0,198674	0,218892	0,219825	0,219312

**Tabla 13.** Resultados del quinto grupo de experimentos del operador de selección

Los resultados de los experimentos de este grupo se graficaron en las Figuras 56, 57 y 58.

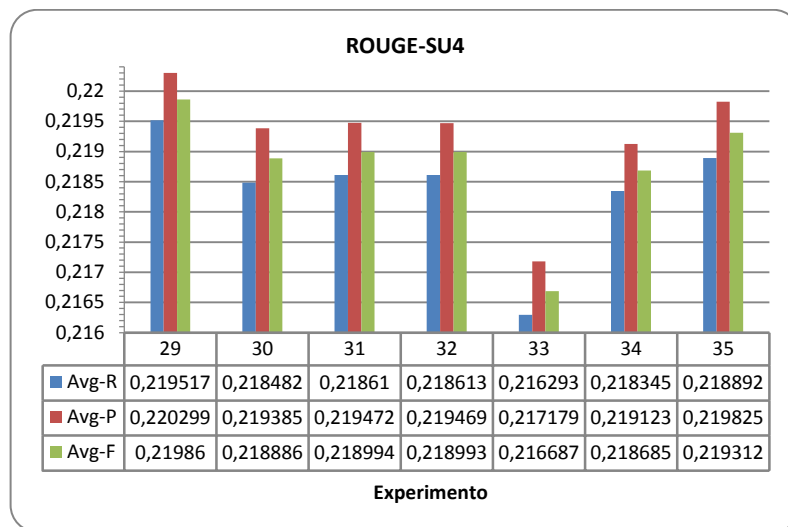


**Figura 56.** Quinto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1



**Figura 57.** Quinto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2





**Figura 58.** Quinto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4

Según los resultados, se aprecia que, en este grupo, el experimento 29 ofrece el mejor rendimiento en las tres medidas de ROUGE. Así mismo, el experimento 35 es el segundo mejor resultado, pues a pesar de que los experimentos 31 y 32 presentan también un buen comportamiento, éste los supera a ambos en la medida de RSU4, y también consigue superarlos en los valores de precisión y medida-F de R1 y R2. De este modo, para este grupo las combinaciones *candidatas* para pasar a la etapa de definición del operador de cruce, corresponden a los métodos *Aleatorio* (Exp. 29) y *Emparejamiento Restringido* (Exp.35).

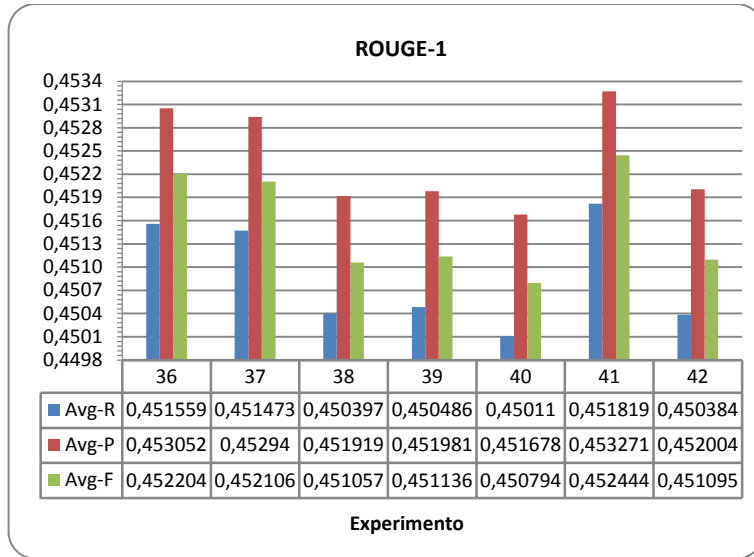
### 2.1.6 SEXTO GRUPO: Emparejamiento Restringido

En este grupo, se utilizó el mecanismo de *Emparejamiento Restringido* para seleccionar el padre, y analizar su comportamiento con otros métodos para seleccionar la madre. En la Tabla 14, se muestran las parejas de los métodos de selección a las que responden estos experimentos y los resultados correspondientes.

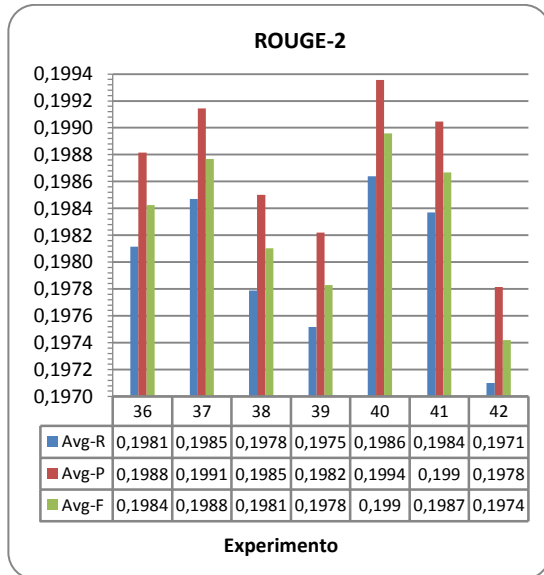
Selección Padre		Emparejamiento Restringido								
Exp.	Selección Madre	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
36	Aleatorio	0,451559	0,453052	0,452204	0,198116	0,198816	0,198425	0,218477	0,219283	0,218832
37	Rueda De Ruleta	0,451473	0,452940	0,452106	0,198471	0,199145	0,198768	0,218669	0,219451	0,219013
38	Torneo Probabilístico	0,450397	0,451919	0,451057	0,197788	0,198501	0,198104	0,217889	0,218698	0,218247
39	Torneo Determinístico	0,450486	0,451981	0,451136	0,197518	0,198220	0,197830	0,217800	0,218604	0,218156
40	Basada En Rango	0,450110	0,451678	0,450794	0,198640	0,199355	0,198958	0,218388	0,219217	0,218755
41	Rango Aleatorio	0,451819	0,453271	0,452444	0,198370	0,199046	0,198668	0,218813	0,219597	0,219157
42	Emparejamiento Restringido	0,450384	0,452004	0,451095	0,197101	0,197814	0,197419	0,217819	0,218661	0,218194

**Tabla 14.** Resultados del sexto grupo de experimentos del operador de selección

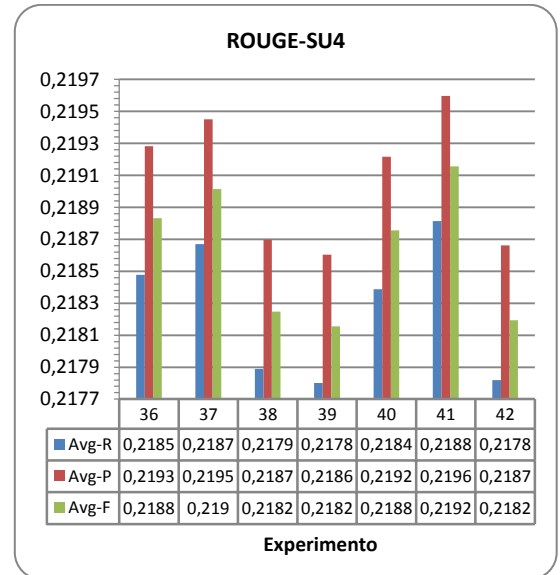
Los resultados de los experimentos de este grupo se presentan gráficamente en las Figuras 59, 60 y 61.



**Figura 59.** Sexto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-1



**Figura 60.** Sexto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-2



**Figura 61.** Sexto grupo de experimentos del operador de selección con ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, existen tres configuraciones que presentan un buen comportamiento en todas las medidas de ROUGE, ellos son los experimentos 36, 37 y 41. No obstante, el experimento 41 supera al 36 en todas las medidas de ROUGE y al 37 lo sobrepasa en R1 y RSU4, por lo cual se considera el mejor de estos tres experimentos,

seguido por el 37, que supera al 36 en dos medidas (R2 y RSU4). Por otro lado, cabe señalar que la experimentación 40 presentó un comportamiento aceptable en la medida de R2, sin embargo, su desempeño en R1 es de los más bajos y en RSU4 es superado por varios experimentos como el 36, 37 y 41. De esta manera, en este grupo, las combinaciones candidatas para pasar a la siguiente etapa de definición de operadores son las correspondientes a los métodos *Rango Aleatorio* (Exp. 41) y *Rueda de Ruleta* (Exp. 37).

## 2.2 DETERMINACIÓN DE LAS MEJORES COMBINACIONES DE MÉTODOS DE SELECCIÓN

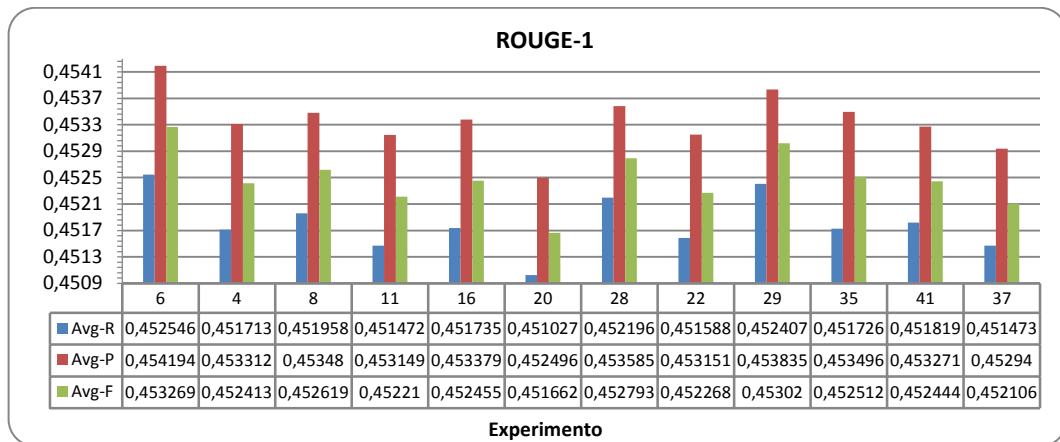
Tras el análisis anterior, se recopilaron las dos configuraciones con mejor desempeño de cada uno de los grupos de experimentos, con el fin de estudiar su comportamiento y, entonces, determinar las mejores cinco combinaciones de métodos de selección de padre y madre obtenidas durante esta fase, para que constituyan el punto inicial de la siguiente etapa del proceso de configuración del algoritmo memético.

Las combinaciones de métodos de selección para padre y madre, se muestran en la Tabla 15 con sus respectivos resultados.

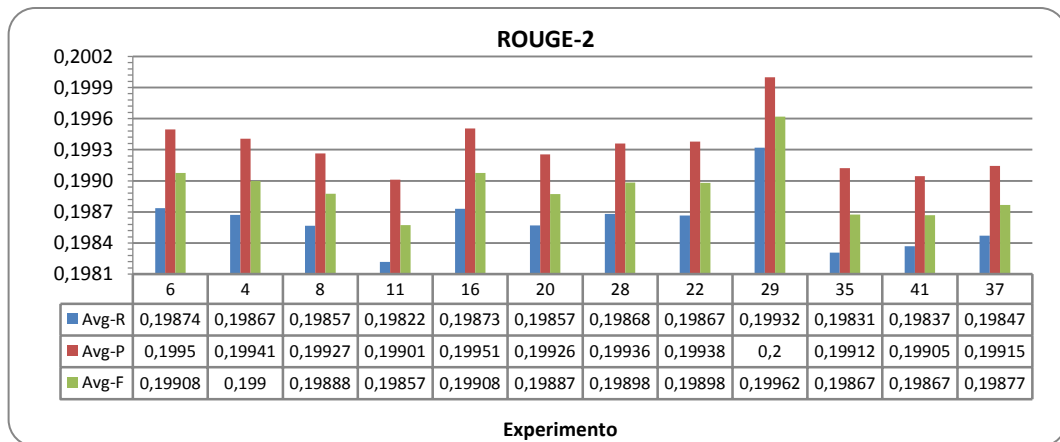
Exp	Selección Padre	Selección Madre	R1R			R2R			RSU4		
			Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
6	Torneo Probab.	<b>Rango Aleatorio</b>	<b>0,452546</b>	<b>0,454194</b>	<b>0,453269</b>	<b>0,198737</b>	<b>0,199495</b>	<b>0,199075</b>	<b>0,219389</b>	<b>0,220271</b>	<b>0,219782</b>
4		Torneo Deter.	0,451713	0,453312	0,452413	<b>0,198671</b>	<b>0,199407</b>	<b>0,198999</b>	0,218924	0,219770	0,219300
8	Torneo Deter.	<b>Aleatorio</b>	<b>0,451958</b>	<b>0,453480</b>	<b>0,452619</b>	0,198566	0,199265	0,198875	0,218957	0,219766	0,219315
11		Torneo Deter.	0,451472	0,453149	0,452210	0,198219	0,199011	0,198574	0,218839	0,219747	0,219245
16	Basada En Rango	<b>Rueda De Ruleta</b>	0,451735	0,453379	0,452455	<b>0,198729</b>	<b>0,199505</b>	<b>0,199076</b>	<b>0,219114</b>	<b>0,220003</b>	<b>0,219510</b>
20		Rango Aleatorio	0,451027	0,452496	0,451662	0,198571	0,199256	0,198873	<b>0,219075</b>	<b>0,219875</b>	<b>0,219428</b>
28	Rueda De Ruleta	<b>Emp. Restrining.</b>	<b>0,452196</b>	<b>0,453585</b>	<b>0,452793</b>	<b>0,198682</b>	0,199360	<b>0,198982</b>	<b>0,219045</b>	0,219817	<b>0,219385</b>
22		Aleatorio	0,451588	0,453151	0,452268	0,198666	<b>0,199377</b>	0,198981	0,218738	0,219560	0,219101
29	Rango Aleatorio	<b>Aleatorio</b>	<b>0,452407</b>	<b>0,453835</b>	<b>0,453020</b>	<b>0,199320</b>	<b>0,200000</b>	<b>0,199619</b>	<b>0,219517</b>	<b>0,220299</b>	<b>0,219860</b>
35		Emp. Restriningido	0,451726	<b>0,453496</b>	<b>0,452512</b>	0,198307	0,199121	0,198674	0,218892	<b>0,219825</b>	0,219312
41	Comp. Restrining.	Rango Aleatorio	<b>0,451819</b>	0,453271	0,452444	0,198370	0,199046	0,198668	0,218813	0,219597	0,219157
37		Rueda De Ruleta	0,451473	0,452940	0,452106	0,198471	0,199145	0,198768	0,218669	0,219451	0,219013

**Tabla 15.** Recopilación de los resultados de los mejores experimentos de cada grupo de selección

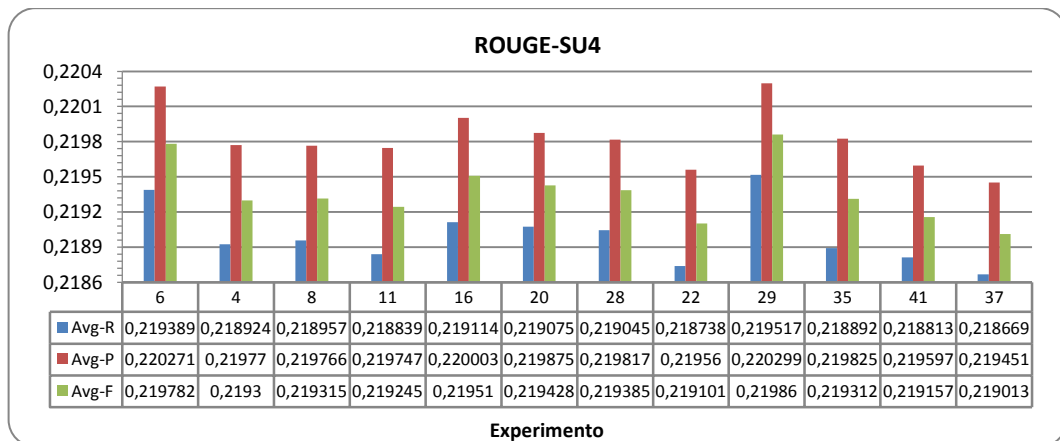
Para facilitar su análisis, las Figuras 62, 63 y 64 muestran gráficamente los resultados de acuerdo a las medidas de R1, R2 y RSU4.



**Figura 62.** Mejores experimentos de cada grupo de selección con R1



**Figura 63.** Mejores experimentos de cada grupo de selección con R2



**Figura 64.** Mejores experimentos de cada grupo de selección con RSU4

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que los cinco mejores desempeños de esta etapa los presentaron los experimentos 29, 6, 16, 28 y 8, los cuales pasarán a la siguiente etapa como experimentos de referencia. Las parejas correspondientes a estos experimentos se muestran en la Tabla 16.

Pareja	Exp. 1º Etapa	Selección Padre	Selección Madre
1	28	Rueda De Ruleta	Emparejamiento Restringido
2	6	Torneo Probabilístico	Rango Aleatorio
3	8	Torneo Determinístico	Aleatorio
4	16	Basada En Rango	Rueda De Ruleta
5	29	Rango Aleatorio	Aleatorio

**Tabla 16.** Configuración de las cinco mejores parejas de operadores de selección.

### 3 SEGUNDA ETAPA: Definición Del Operador De Cruce

Para la evaluación de cada uno de los métodos estudiados para el operador de cruce se formaron cinco grupos correspondientes al *Cruce de un punto*, *Cruce de dos puntos*, *Cruce uniforme*, *Cruce de anillo* y *Cruce plano*. Las cinco parejas de los métodos de selección resultado de la primera etapa fueron evaluadas con cada uno de estos métodos de cruce, para analizar en qué grado se ve afectado el comportamiento del algoritmo memético con las diferentes configuraciones de estos dos operadores.

En los ítems 3.1 al 3.5 se muestran los resultados y las gráficas correspondientes a cada uno de los experimentos realizados. En el ítem 3.6 se sintetiza el análisis de los resultados obtenidos en cada grupo y se define el mejor método de cruce con el cual se trabajará en la siguiente etapa.

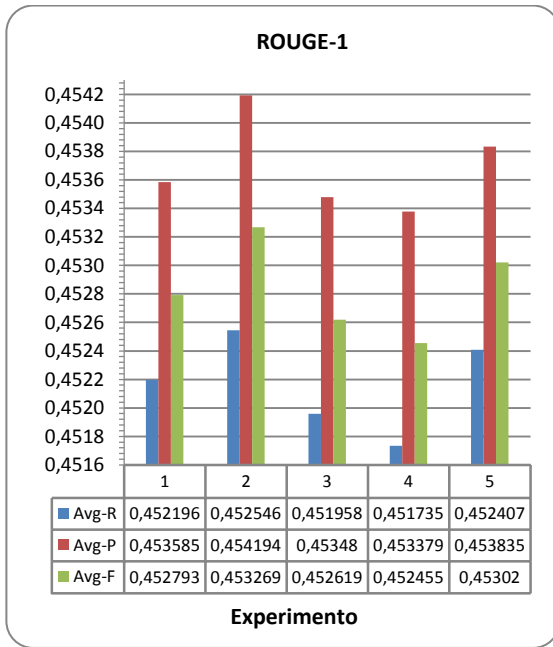
#### 3.1 PRIMER GRUPO: Cruce de un Punto

En la Tabla 17 se muestran los resultados de este grupo de experimentos.

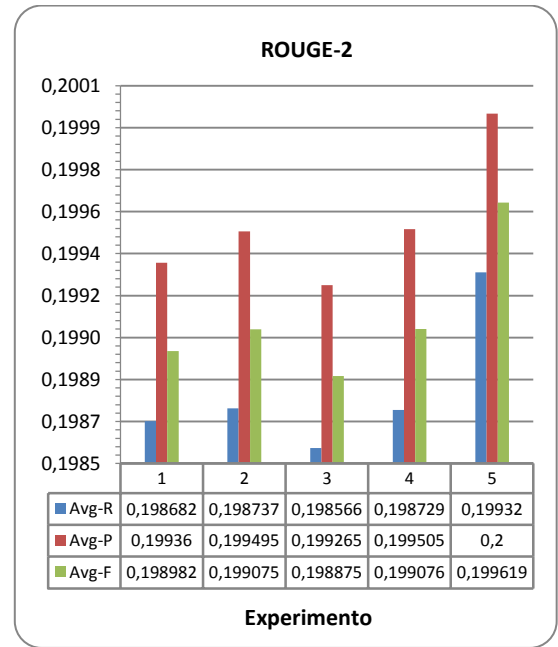
Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	1	0,452196	0,453585	0,452793	0,198682	0,199360	0,198982	0,219045	0,219817	0,219385
2	2	<b>0,452546</b>	<b>0,454194</b>	<b>0,453269</b>	0,198737	0,199495	0,199075	0,219389	0,220271	0,219782
3	3	0,451958	0,453480	0,452619	0,198566	0,199265	0,198875	0,218957	0,219766	0,219315
4	4	0,451735	0,453379	0,452455	0,198729	0,199505	0,199076	0,219114	0,220003	0,219510
5	5	0,452407	0,453835	0,453020	<b>0,199320</b>	<b>0,200000</b>	<b>0,199619</b>	<b>0,219517</b>	<b>0,220299</b>	<b>0,219860</b>

**Tabla 17.** Resultados del primer grupo de experimentos del operador de cruce

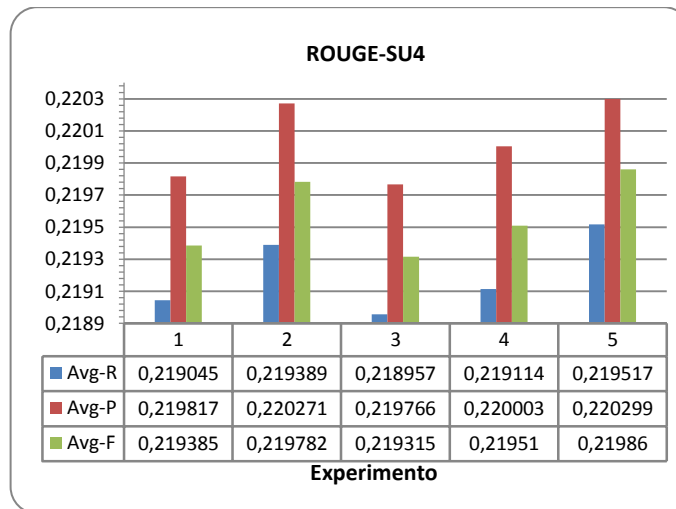
Para un análisis más detallado, en las Figuras 65, 66 y 67 se aprecia el comportamiento de los experimentos del 1 al 5.



**Figura 65.** Primer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1



**Figura 66.** Primer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2



**Figura 67.** Primer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4

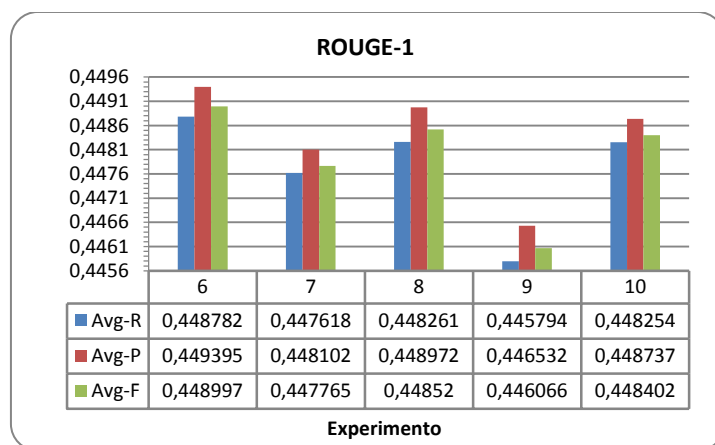
### 3.2 SEGUNDO GRUPO: Cruce de Dos Puntos

En la Tabla 18 se muestran los resultados de este grupo de experimentos.

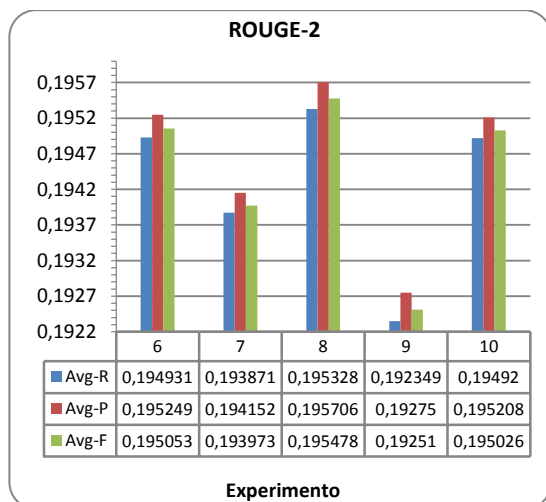
Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
6	1	<b>0,448782</b>	<b>0,449395</b>	<b>0,448997</b>	0,194931	0,195249	0,195053	0,216395	0,216777	0,216542
7	2	0,447618	0,448102	0,447765	0,193871	0,194152	0,193973	0,215243	0,215582	0,215367
8	3	0,448261	0,448972	0,448520	<b>0,195328</b>	<b>0,195706</b>	<b>0,195478</b>	<b>0,216461</b>	<b>0,216906</b>	<b>0,216638</b>
9	4	0,445794	0,446532	0,446066	0,192349	0,192750	0,192510	0,214181	0,214655	0,214372
10	5	0,448254	0,448737	0,448402	0,194920	0,195208	0,195026	0,216271	0,216611	0,216396

**Tabla 18.** Resultados del segundo grupo de experimentos del operador de cruce

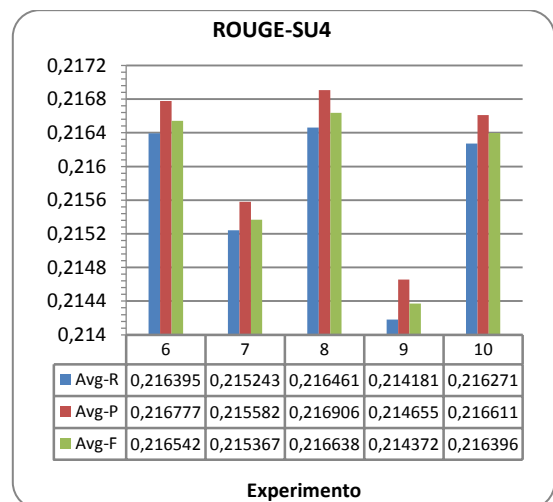
Para un análisis más detallado, en las Figuras 68, 69 y 70 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.



**Figura 68.** Segundo grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1



**Figura 69.** Segundo grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2



**Figura 70.** Segundo grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4

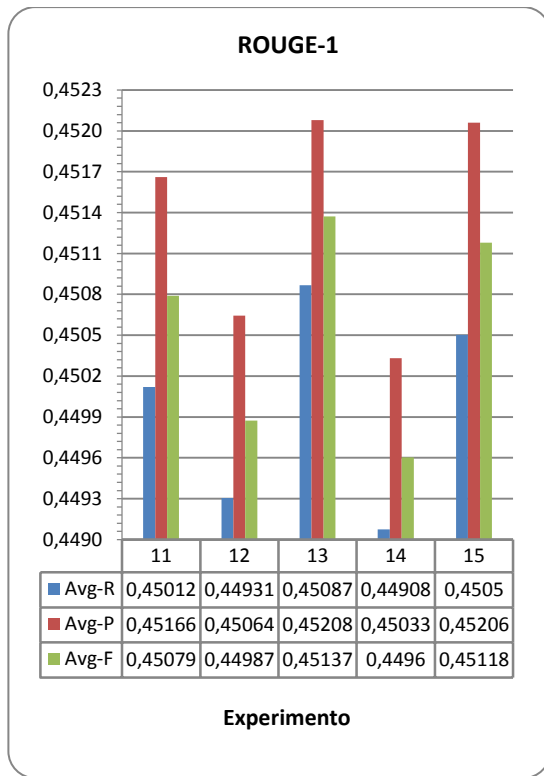
### 3.3 TERCER GRUPO: Cruce Uniforme

En la Tabla 19 se muestran los resultados de este grupo de experimentos.

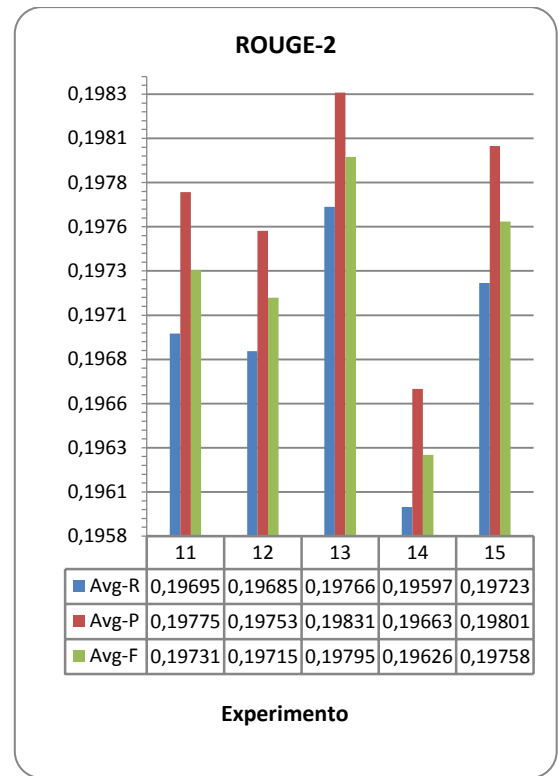
Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
11	1	0,450120	0,451660	0,450790	0,196946	0,197746	0,197307	0,217162	0,218052	0,217561
12	2	0,449305	0,450644	0,449874	0,196846	0,197527	0,197148	0,217016	0,217791	0,217358
13	3	<b>0,450867</b>	<b>0,452080</b>	<b>0,451373</b>	<b>0,197662</b>	<b>0,198309</b>	<b>0,197946</b>	<b>0,217707</b>	0,218428	<b>0,218022</b>
14	4	0,449075	0,450331	0,449602	0,195965	0,196633	0,196259	0,216262	0,217008	0,216589
15	5	0,450503	0,452060	0,451180	0,197232	0,198006	0,197580	0,217590	<b>0,218459</b>	0,217978

**Tabla 19.** Resultados del tercer grupo de experimentos del operador de cruce

Para un análisis más detallado, en las Figuras 71, 72 y 73 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.



**Figura 71.** Tercer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1



**Figura 72.** Tercer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2



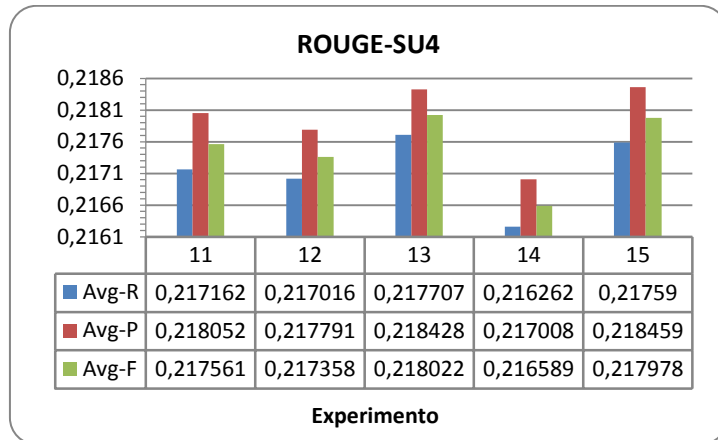


Figura 73. Tercer grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4

### 3.4 CUARTO GRUPO: Cruce De Anillo

En la Tabla 20 se muestran los resultados de este grupo de experimentos. En las Figuras 74, 75 y 76 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
16	1	0,444807	0,446008	0,445304	0,195382	0,195897	0,195598	0,215023	0,215640	0,215282
17	2	0,445003	0,445962	0,445380	0,195169	0,195617	0,195352	0,215088	0,215619	0,215306
18	3	<b>0,447626</b>	<b>0,448690</b>	<b>0,448053</b>	<b>0,197443</b>	<b>0,197934</b>	<b>0,197646</b>	<b>0,217302</b>	<b>0,217870</b>	<b>0,217536</b>
19	4	0,445134	0,446376	0,445647	0,194798	0,195328	0,195020	0,214923	0,215550	0,215186
20	5	0,446019	0,447099	0,446452	0,196078	0,196581	0,196287	0,216025	0,216615	0,216270

Tabla 20. Resultados del cuarto grupo de experimentos del operador de cruce

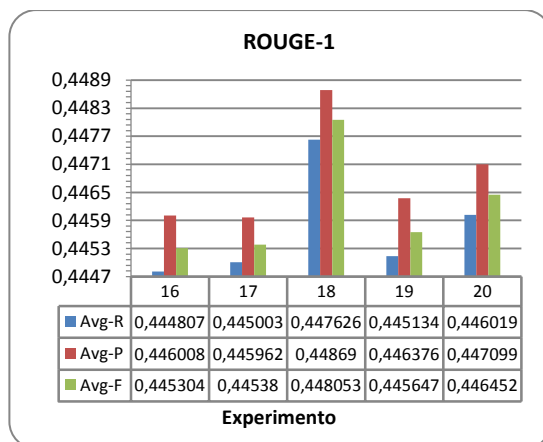


Figura 74. Cuarto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1

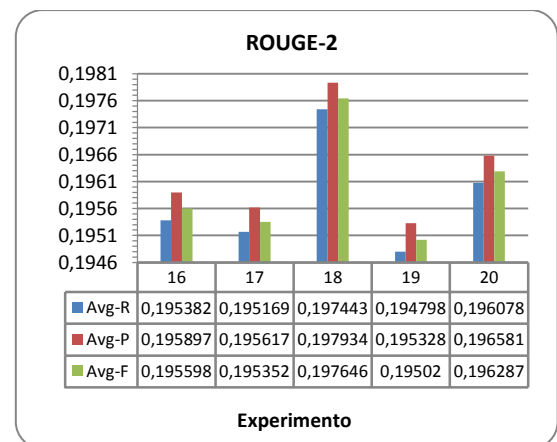


Figura 75. Cuarto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2

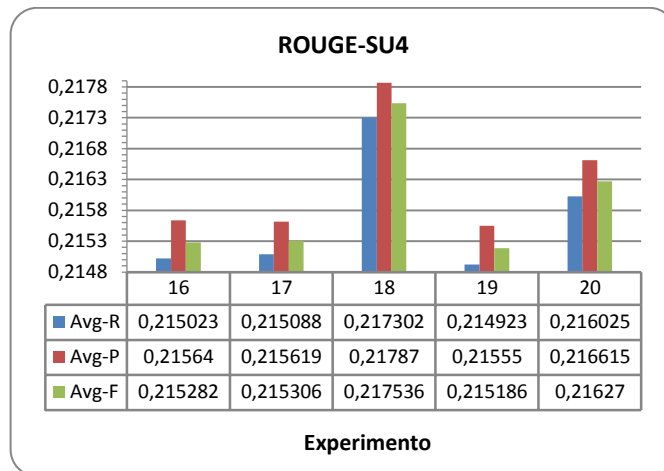


Figura 76. Cuarto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4

### 3.5 QUINTO GRUPO: Cruce Plano

En la Tabla 21 se muestran los resultados de este grupo de experimentos. En las Figuras 77, 78 y 79 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
21	1	0,445910	0,447240	0,446483	0,193752	0,194477	0,194080	0,214515	0,215308	0,214869
22	2	0,446105	0,447278	0,446599	0,193238	0,193862	0,193515	0,214486	0,215189	0,214795
23	3	0,444841	0,446104	0,445384	0,192749	0,193487	0,193084	0,213755	0,214545	0,214109
24	4	<b>0,447252</b>	<b>0,448613</b>	<b>0,447841</b>	<b>0,194334</b>	<b>0,195075</b>	<b>0,194669</b>	<b>0,215236</b>	<b>0,216053</b>	<b>0,215603</b>
25	5	0,445434	0,446773	0,446015	0,192965	0,193695	0,193297	0,213997	0,214794	0,214355

Tabla 21. Resultados del quinto grupo de experimentos del operador de cruce

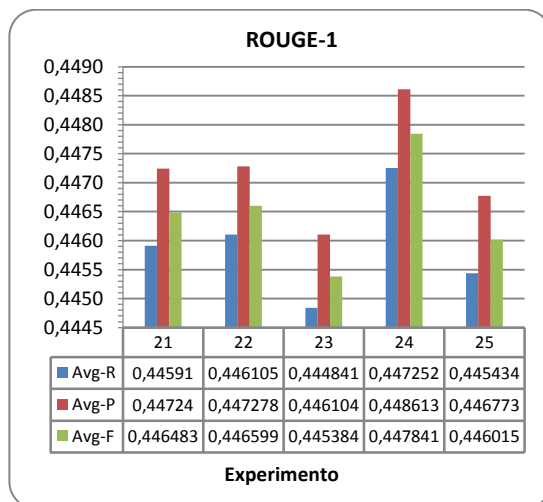


Figura 77. Quinto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-1

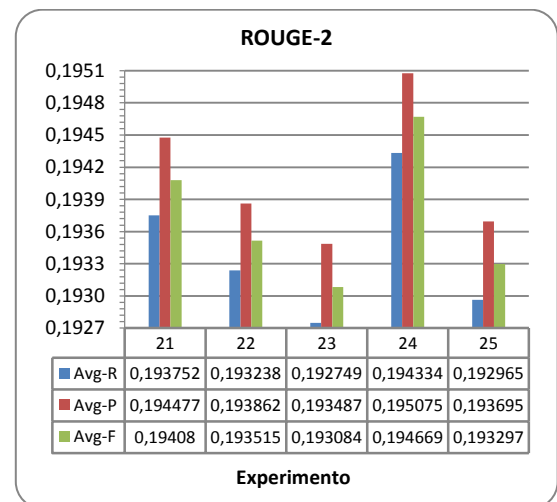
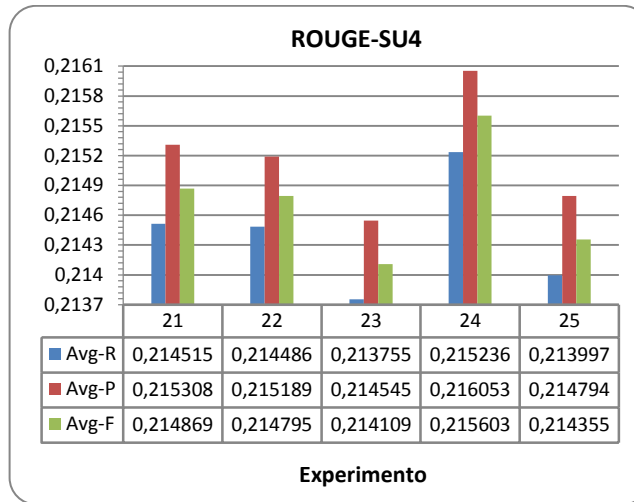


Figura 78. Quinto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-2



**Figura 79.** Quinto grupo de experimentos del operador de cruce con ROUGE-SU4

### 3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos en el primer grupo, en las medidas R2 y RSU4 se observa un comportamiento muy similar, donde el experimento que presento el mejor resultado fue el 5, sin embargo, en R1 éste ocupó el segundo lugar, siendo superado por el experimento 2. Por lo tanto, en este grupo la pareja de métodos de selección que mejor desempeño tuvo con el *cruce de un punto* es la 5, evaluada en el experimento 5, y corresponde a la *selección basada en rango aleatorio* para el padre y la *selección aleatoria* para la madre.

En el segundo grupo, donde se evaluó el *cruce de dos puntos*, se aprecia que las medidas de R2 y RSU4 tienen el mismo comportamiento, destacándose el experimento 8. Por su parte, el experimento 6 sobresale, sólo en la medida de R1, de tal manera que la pareja de métodos de selección que mejor se acopló con este tipo de cruce fue la 3, evaluada en el experimento 8, que comprende el método de *selección de torneo determinístico* para el padre y *rango aleatorio* para la madre.

Similar al grupo dos, en el tercer y cuarto grupo, correspondientes al *cruce uniforme* y de *anillo*, se observa claramente que en las tres medidas de ROUGE la pareja 3 es la que obtiene el mejor desempeño, es decir, los experimentos destacados son el 13 y 18, respectivamente.

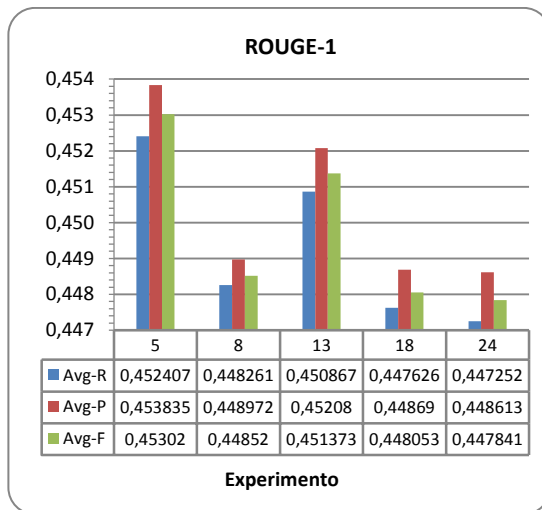
Finalmente en el quinto grupo, el experimento 24, conformado por la pareja 4, obtuvo los resultados más altos en las tres medidas de ROUGE, con los métodos correspondientes a la *selección basada en rango* para el padre y *selección de rueda de ruleta* para la madre.

Así pues, una vez elegidos los mejores experimentos de cada uno de los grupos de cruce, se sintetizó esta información para realizar un análisis comparativo y definir el mejor método de cruce con el cual se seguirán analizando los demás operadores (Ver Tabla 22).

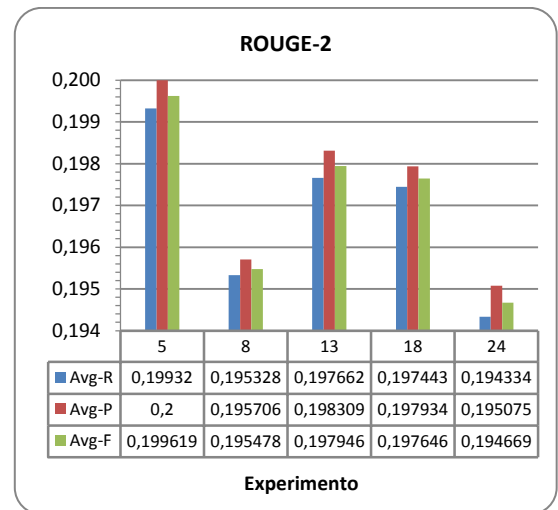
Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
5	5	0,452407	0,453835	0,453020	0,199320	0,200000	0,199619	0,219517	0,220299	0,219860
8	3	0,448261	0,448972	0,448520	0,195328	0,195706	0,195478	0,216461	0,216906	0,216638
13	3	0,450867	0,452080	0,451373	0,197662	0,198309	0,197946	0,217707	0,218428	0,218022
18	3	0,447626	0,448690	0,448053	0,197443	0,197934	0,197646	0,217302	0,217870	0,217536
24	4	0,447252	0,448613	0,447841	0,194334	0,195075	0,194669	0,215236	0,216053	0,215603

**Tabla 22.** Resultados de los cinco mejores experimentos de los grupos de cruce.

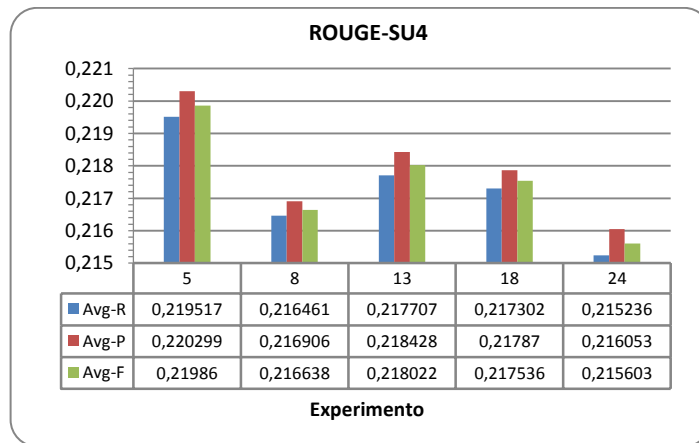
Para un análisis más detallado, en las Figuras 80, 81 y 82 se aprecia el comportamiento de estos experimentos.



**Figura 80.** Mejores experimentos de los grupos de cruce con ROUGE-1



**Figura 81.** Mejores experimentos de los grupos de cruce con ROUGE-2



**Figura 82.** Mejores experimentos de los grupos de cruce con ROUGE-SU4

Analizando los resultados, es importante destacar dos aspectos. El primero de ellos es que, teniendo en cuenta que cada uno de estos resultados corresponde al desempeño más alto obtenido con cada método de cruce, es indiscutible que el que mejor se acopla con la pareja de selección respectiva, es el *Cruce De Un Punto*. Este hecho, lleva a analizar un segundo aspecto, y es que, a pesar de que la pareja 3 se destacó en dos experimentos más que la 5, no fue ella quien presentó los mejores resultados, lo cual ratifica que, como se mencionó al inicio de este anexo, el rendimiento del algoritmo memético depende del acoplamiento que ofrecen los operadores entre sí, por lo que no se puede suponer que la configuración más adecuada del algoritmo esté formada siempre por los mejores métodos de cada operador. Por tal motivo, con el fin de no obviar configuraciones que podrían mejorar los resultados, en la siguiente etapa, correspondiente a la evaluación de los métodos de mutación, se continuará realizando los experimentos con las cinco mejores parejas de los métodos de selección junto al mejor método de cruce: el *Cruce de un Punto*.

#### 4 TERCERA ETAPA: Elección Del Operador De Mutación

Esta etapa se enfoca en el estudio del operador de mutación e inicia a partir de las cinco configuraciones formadas por las mejores parejas de los métodos de selección y el *Cruce de un Punto*. El mecanismo de mutación evaluado en la presente investigación está formado por dos fases, la primera es la fase *externa*, en la cual se decide la cantidad de bits de la solución que serán transformados, y la segunda es la fase *interna*, donde se hace efectiva la transformación de la solución. En la primera fase se evaluaron dos técnicas diferentes correspondientes a la *Mutación de Bit* y a la *Mutación Multi-Bit*. En la segunda fase se evaluaron las técnicas de *Mutación de Inserción*, *Mutación de Intercambio* y *Mutación Compuesta*. En ese sentido, este proceso se divide en dos grupos correspondientes a las técnicas de la fase externa, los cuales se dividen, a su vez, en subgrupos, donde cada uno considera un método diferente de la fase interna.

##### 4.1 PRIMER GRUPO: Mutación de Bit

La técnica de Mutación de Bit decide aleatoriamente cuál bit debe ser mutado. En este grupo se evaluaron varios métodos de mutación interna acoplados a esta técnica de mutación externa.

##### 4.1.1 PRIMER SUBGRUPO: Mutación de Inserción

Teniendo en cuenta que la combinación de Mutación de Bit y Mutación de Inserción hace parte de la configuración preliminar, los resultados correspondientes a este subgrupo fueron obtenidos en la etapa anterior y pueden verse en la Tabla 17 de la Sección 3.1, donde el mejor comportamiento lo presentó el Experimento 5 con la pareja de métodos de selección *Rango Aleatorio* para el padre y *Selección Aleatoria* para la madre. Dentro de esta etapa se hará referencia a dicho experimento como Experimento 0 (Ver Tabla 23).

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
0	5	0,452407	0,453835	0,453020	0,199320	0,200000	0,199619	0,219517	0,220299	0,219860

**Tabla 23.** Resultado del mejor experimento del primer subgrupo de mutación

#### 4.1.2 SEGUNDO SUBGRUPO: Mutación de Intercambio

Dentro de este subgrupo, se consideraron tres adaptaciones diferentes del método de mutación de intercambio, tratando de mantener su esencia fundamental. La primera implementación corresponde al enfoque básico del método, mientras que las otras dos incorporan variaciones que comprenden restricciones propias del problema abordado, las cuales tienen que ver con la longitud de un resumen. La segunda implementación considera un enfoque en el que se ejecutan varios intercambios mientras se cumpla con las condiciones de longitud del resumen. Por su parte, en la tercera adaptación, si con la activación de un bit se supera la máxima longitud válida entonces se busca aleatoriamente un segundo bit para que sea desactivado y si con la desactivación de un bit se supera la mínima longitud válida entonces se busca aleatoriamente un segundo bit para que sea activado. Si por el contrario la activación o desactivación de un bit no lleva a la violación de las restricciones de longitud entonces se reversa el proceso y no se realiza la mutación (Ver detalles en el Anexo A). De esta forma, este segundo grupo se divide en 3 bloques, donde cada uno considera una implementación diferente de la *Mutación Interna de Intercambio*.

##### 4.1.2.1 PRIMER BLOQUE: Mutación de Intercambio 1

En la Tabla 24, se presentan los resultados de este bloque y en las Figuras 83, 84 y 85 se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	1	0,444621	0,445931	0,445174	0,193915	0,194563	0,194199	0,213518	0,214270	0,213847
2	2	0,446163	0,447752	0,446838	0,196579	0,197375	0,196927	0,215939	0,216845	0,216334
3	3	0,445633	0,446913	0,446170	0,195528	0,196186	0,195817	0,215217	0,215969	0,215545
4	4	<b>0,446970</b>	<b>0,448618</b>	<b>0,447694</b>	<b>0,196764</b>	<b>0,197560</b>	<b>0,197123</b>	<b>0,216143</b>	<b>0,217052</b>	<b>0,216551</b>
5	5	0,445473	0,446716	0,445993	0,195175	0,195801	0,195449	0,214914	0,215637	0,215229

Tabla 24. Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio1

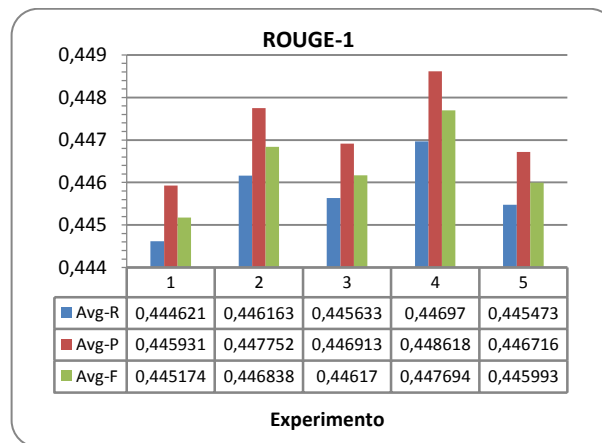
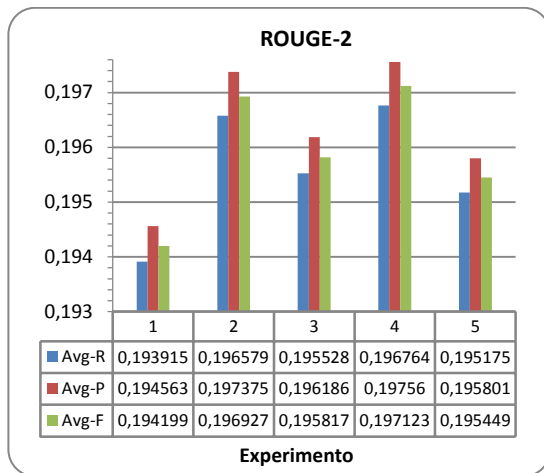
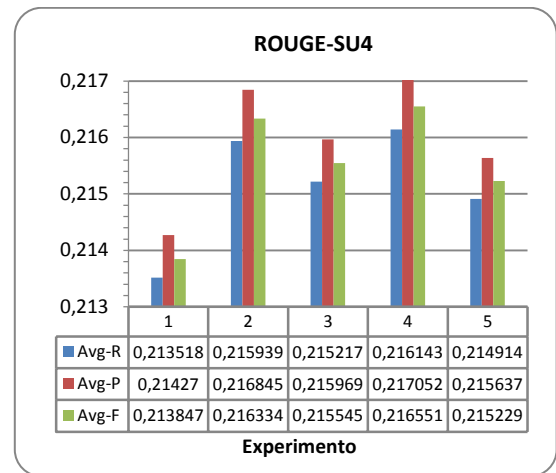


Figura 83. Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio1 con ROUGE-1



**Figura 84.** Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio1 con ROUGE-2



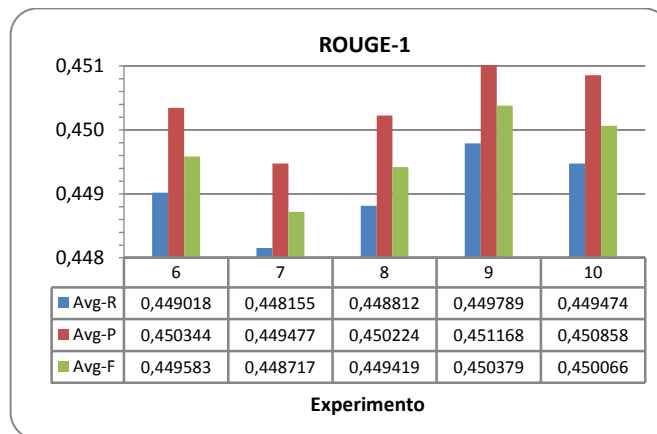
**Figura 85.** Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio1 con ROUGE-SU4

#### 4.1.2.2 SEGUNDO BLOQUE: Mutación de Intercambio 2

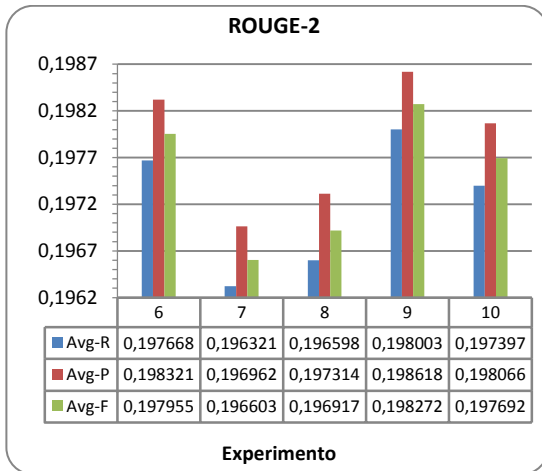
En la Tabla 25, se presentan los resultados de este bloque y en las Figuras 86, 87 y 88, se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
6	1	0,449018	0,450344	0,449583	0,197668	0,198321	0,197955	0,217311	0,218049	0,217635
7	2	0,448155	0,449477	0,448717	0,196321	0,196962	0,196603	0,216130	0,216869	0,216454
8	3	0,448812	0,450224	0,449419	0,196598	0,197314	0,196917	0,216674	0,217478	0,217031
9	4	<b>0,449789</b>	<b>0,451168</b>	<b>0,450379</b>	<b>0,198003</b>	<b>0,198618</b>	<b>0,198272</b>	<b>0,217962</b>	<b>0,218696</b>	<b>0,218283</b>
10	5	0,449474	0,450858	0,450066	0,197397	0,198066	0,197692	0,217102	0,217862	0,217436

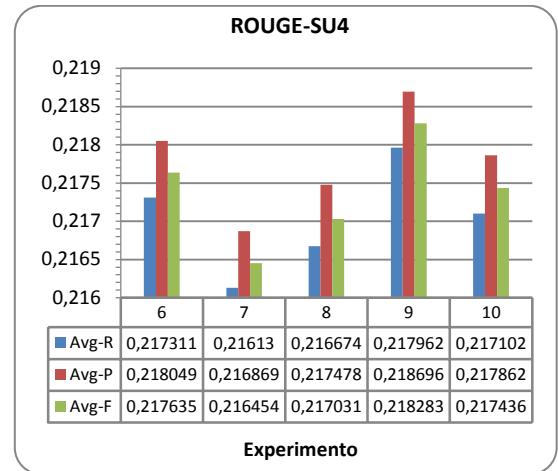
**Tabla 25.** Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio2



**Figura 86.** Experimentos de Mutación de Bit y de Intercambio2 con ROUGE-1



**Figura 87.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-2



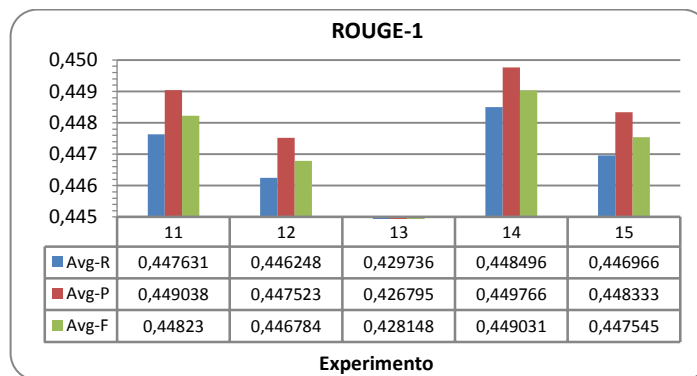
**Figura 88.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-SU4

#### 4.1.2.3 TERCER BLOQUE: Mutación de Intercambio 3

En la Tabla 26, se presentan los resultados de este bloque y en las Figuras 89, 90 y 91, se muestran gráficamente estos datos.

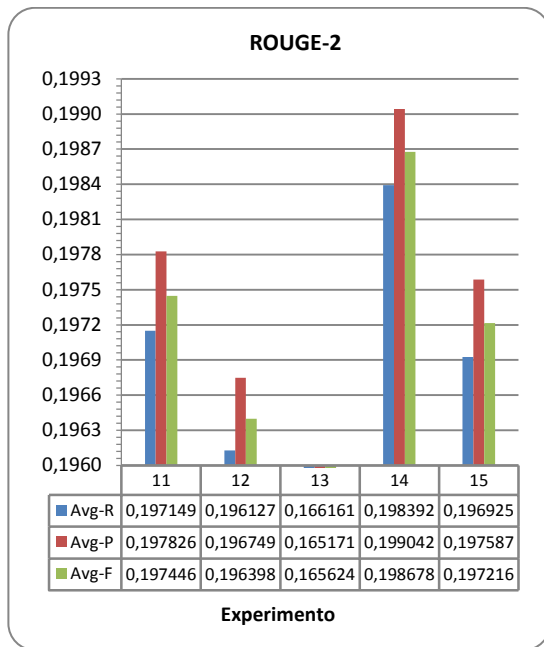
Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
11	1	0,447631	0,449038	0,448230	0,197149	0,197826	0,197446	0,216486	0,217264	0,216827
12	2	0,446248	0,447523	0,446784	0,196127	0,196749	0,196398	0,215545	0,216254	0,215853
13	3	0,429736	0,426795	0,428148	0,166161	0,165171	0,165624	0,189725	0,188504	0,189064
14	4	<b>0,448496</b>	<b>0,449766</b>	<b>0,449031</b>	<b>0,198392</b>	<b>0,199042</b>	<b>0,198678</b>	<b>0,217461</b>	<b>0,218195</b>	<b>0,217782</b>
15	5	0,446966	0,448333	0,447545	0,196925	0,197587	0,197216	0,216221	0,216983	0,216554

**Tabla 26.** Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3

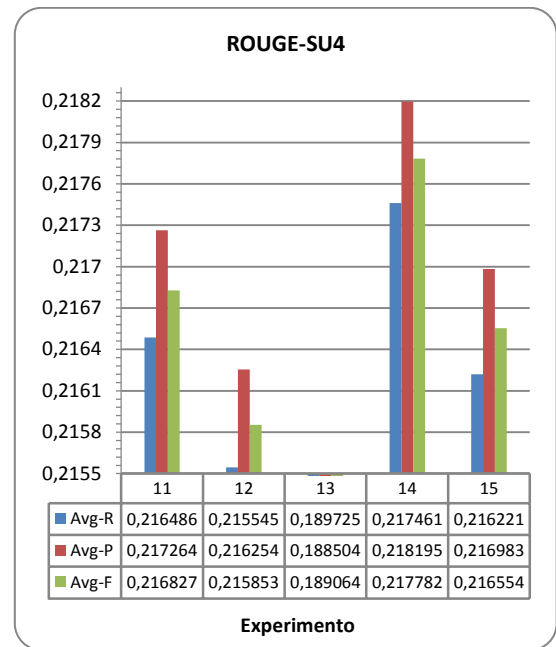


**Figura 89.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-1





**Figura 90.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-2



**Figura 91.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-SU4

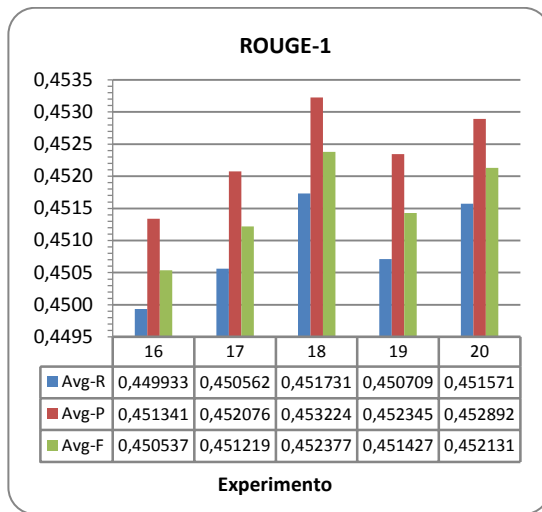
#### 4.1.3 TERCER SUBGRUPO: Mutación Compuesta

El proceso de evaluación de este subgrupo es realizado bajo una implementación que integra el método de *Mutación de Inserción* junto al mejor método de mutación de intercambio, según los resultados obtenidos en el subgrupo anterior, es decir, la *Mutación de Intercambio 2*. Así, la técnica resultante es denominada *Mutación Compuesta*. Esta implementación se propone con el fin de estudiar otras opciones que pudieran conducir a mejores resultados que los obtenidos hasta el momento.

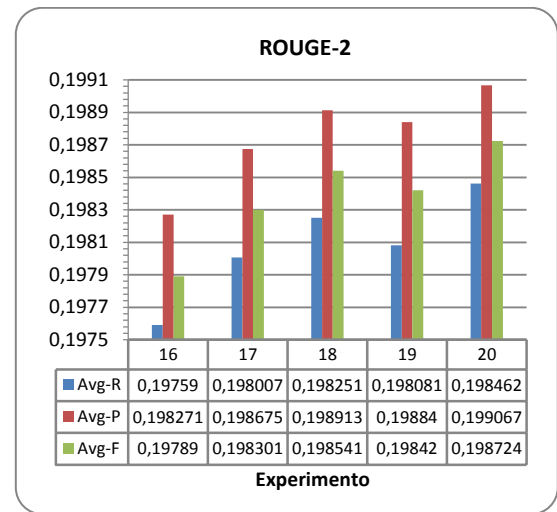
En la Tabla 27, se presentan los resultados de este subgrupo y en las Figuras 92, 93 y 94, se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
16	1	0,449933	0,451341	0,450537	0,197590	0,198271	0,197890	0,217640	0,218411	0,217978
17	2	0,450562	0,452076	0,451219	0,198007	0,198675	0,198301	0,218204	0,218986	0,218548
18	3	<b>0,451731</b>	<b>0,453224</b>	<b>0,452377</b>	0,198251	0,198913	0,198541	<b>0,218684</b>	<b>0,219462</b>	<b>0,219026</b>
19	4	0,450709	0,452345	0,451427	0,198081	0,198840	0,198420	0,218367	0,219234	0,218753
20	5	0,451571	0,452892	0,452131	<b>0,198462</b>	<b>0,199067</b>	<b>0,198724</b>	0,218669	0,219379	0,218977

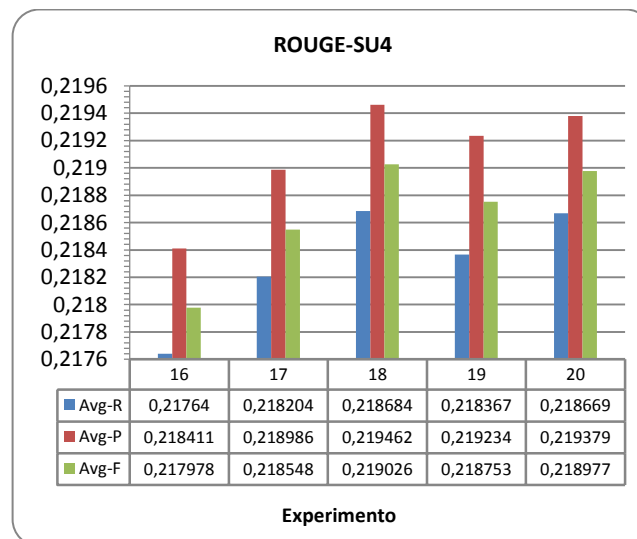
**Tabla 27.** Resultados de los experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta



**Figura 92.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-1



**Figura 93.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-2



**Figura 94.** Experimentos de Mutación de Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-SU4

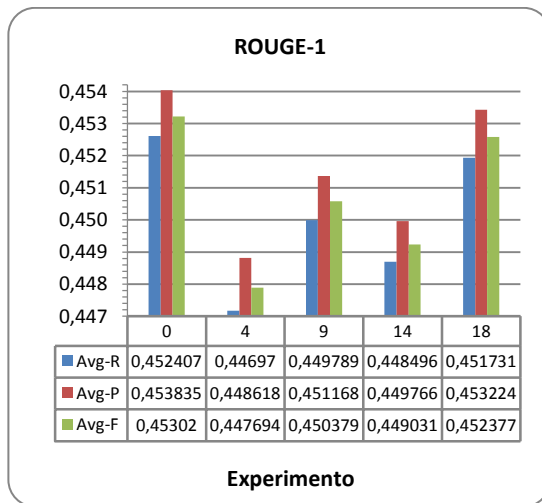
#### 4.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PRIMER GRUPO

Según los resultados obtenidos, en el primer subgrupo, como se mencionó anteriormente, el experimento que sobresalió fue el Experimento 0, en el segundo subgrupo los experimentos que se destacaron en cada bloque en todas las medidas de ROUGE, sin ninguna duda, fueron el 4, 9 y el 14 respectivamente, mientras que en el tercer subgrupo el experimento 18 obtuvo el mejor desempeño. Esta información se sintetizó en la Tabla 28 para realizar un análisis comparativo y definir el método que mejor se acopla con la *Mutación de Bit*. En las Figuras 95, 96 y 97 se presentan gráficamente estas cifras. En los datos presentados, se incluye un experimento correspondiente al más sobresaliente del primer subgrupo, el cual, como se mencionó previamente y como fue analizado en la

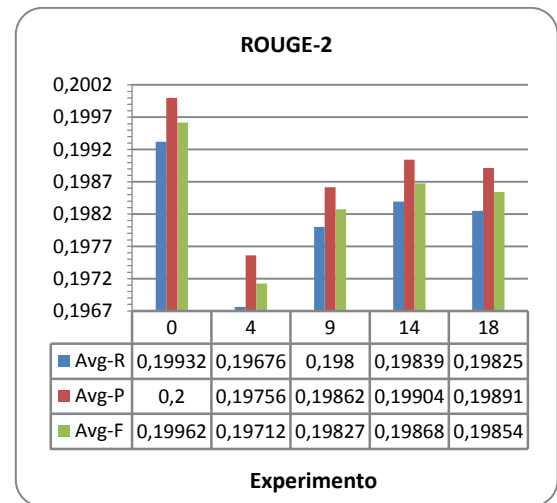
etapa de definición del operador de cruce, corresponde a la pareja de métodos de selección *Rango Aleatorio* para el padre y *Selección Aleatoria* para la madre. De esta forma, considerando que este experimento fue realizado en una etapa anterior, y no en la etapa actual, será denominado en este análisis como *Experimento 0 (cero)*.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>0</b>	<b>5</b>	<b>0,452407</b>	<b>0,453835</b>	<b>0,453020</b>	<b>0,199320</b>	<b>0,200000</b>	<b>0,199619</b>	<b>0,219517</b>	<b>0,220299</b>	<b>0,219860</b>
<b>4</b>	<b>4</b>	0,446970	0,448618	0,447694	0,196764	0,197560	0,197123	0,216143	0,217052	0,216551
<b>9</b>	<b>4</b>	0,449789	0,451168	0,450379	0,198003	0,198618	0,198272	0,217962	0,218696	0,218283
<b>14</b>	<b>4</b>	0,448496	0,449766	0,449031	0,198392	0,199042	0,198678	0,217461	0,218195	0,217782
<b>18</b>	<b>3</b>	0,451731	0,453224	0,452377	0,198251	0,198913	0,198541	0,218684	0,219462	0,219026

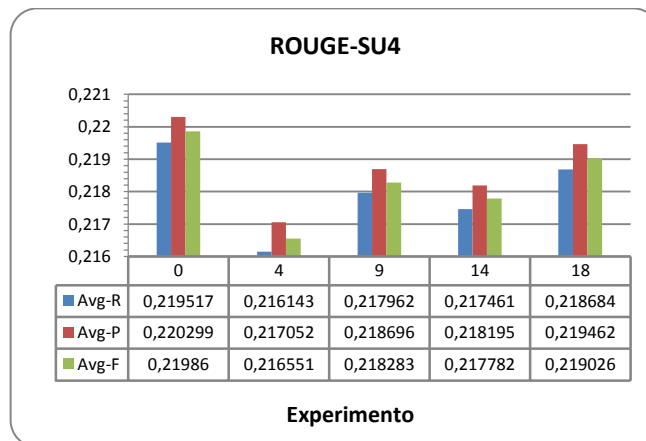
**Tabla 28.** Resultados de los cuatro mejores experimentos del primer grupo de mutación



**Figura 95.** Mejores experimentos del primer grupo de mutación con ROUGE-1



**Figura 96.** Mejores experimentos del primer grupo de mutación con ROUGE-2



**Figura 97.** Mejores experimentos del primer grupo de mutación con ROUGE-SU4

Analizando los cinco mejores resultados de este grupo, el experimento 0 es el que ofrece el mejor comportamiento, donde la *Mutación De Bit* se acopla muy bien con la *Mutación de Inserción*. Adicionalmente, un hecho destacable en esta etapa es que de los cinco mejores resultados obtenidos, tres de ellos se obtuvieron con la pareja 4 de métodos de selección, conformada por la selección *Basada En El Rango* para el padre y la selección de *Rueda de Ruleta* para la madre, por lo que se presume que esta pareja tiende a mejorar su desempeño al acoplarse con los demás operadores.

#### 4.2 SEGUNDO GRUPO: Mutación Multi-Bit

En este grupo se evaluó un método de Mutación Interna en cada subgrupo, decidiendo cuáles bits de una solución deben ser mutados, de acuerdo a una segunda probabilidad de mutación<sup>11</sup>.

##### 4.2.1 PRIMER SUBGRUPO: Mutación De Inserción

En la Tabla 29, se presentan los resultados de este subgrupo y en las Figuras 98, 99 y 100 se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
21	1	0,449569	0,451073	0,450223	0,197169	0,197870	0,197480	0,217437	0,218248	0,217797
22	2	0,452851	0,454432	0,453542	<b>0,199845</b>	0,200567	0,200166	<b>0,220087</b>	0,220925	0,220459
23	3	0,451925	0,453321	0,452522	0,198935	0,199601	0,199227	0,219415	0,220187	0,219753
24	4	<b>0,453300</b>	<b>0,455091</b>	<b>0,454096</b>	0,199826	<b>0,200679</b>	<b>0,200212</b>	0,220060	<b>0,221020</b>	<b>0,220493</b>
25	5	0,451940	0,453421	0,452582	0,199314	0,200035	0,199634	0,219483	0,220296	0,219842

Tabla 29. Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción

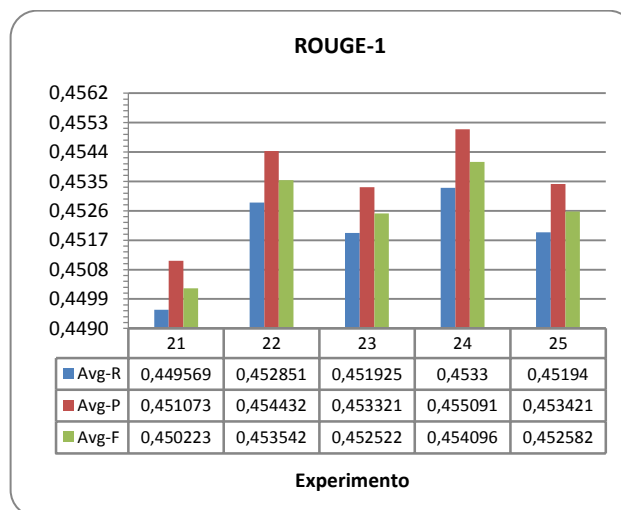
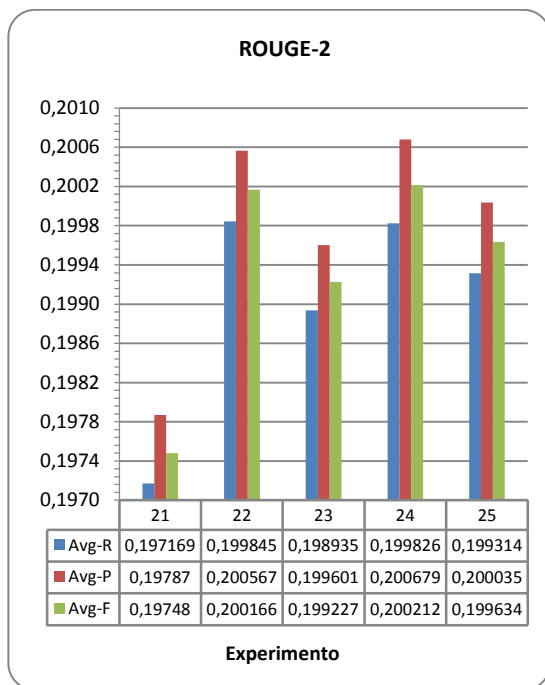
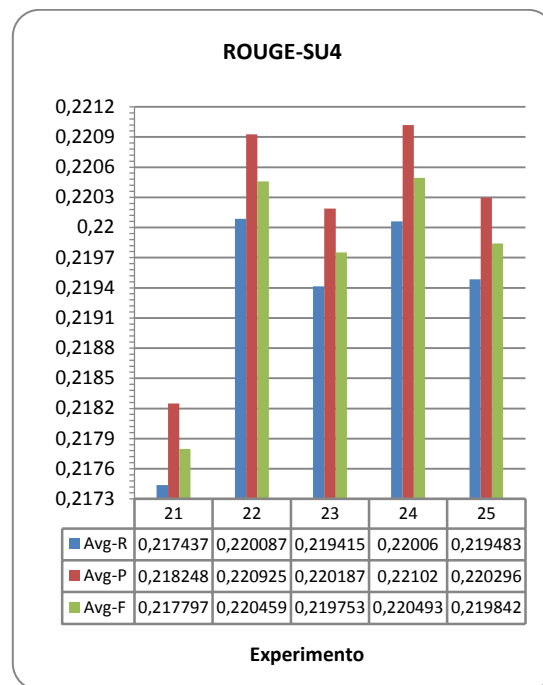


Figura 98. Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción con ROUGE-1

<sup>11</sup> La primera probabilidad de mutación es la que decide si se realiza o no el proceso de mutación sobre un agente.



**Figura 99.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción con ROUGE-2



**Figura 100.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Inserción con ROUGE-SU4

#### 4.2.2 SEGUNDO SUBGRUPO: Mutación de Intercambio

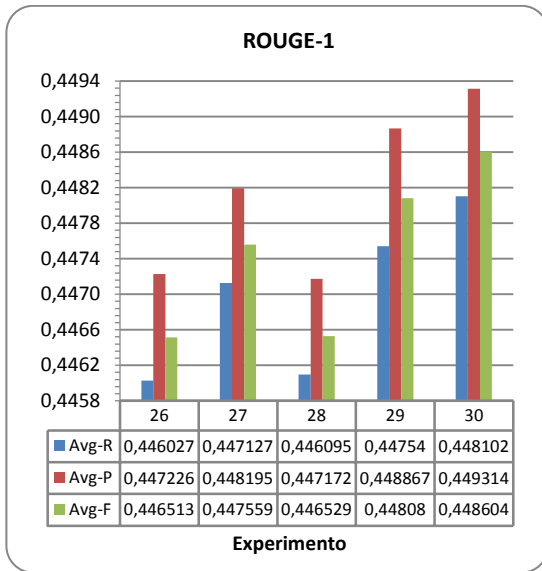
Al igual que sucedió en la Mutación de Bit, dentro de este subgrupo, se consideraron tres bloques de experimentos, donde cada uno abarca una implementación diferente del método de *Mutación de Intercambio*.

##### 4.2.2.1 PRIMER BLOQUE: Mutación de Intercambio 1

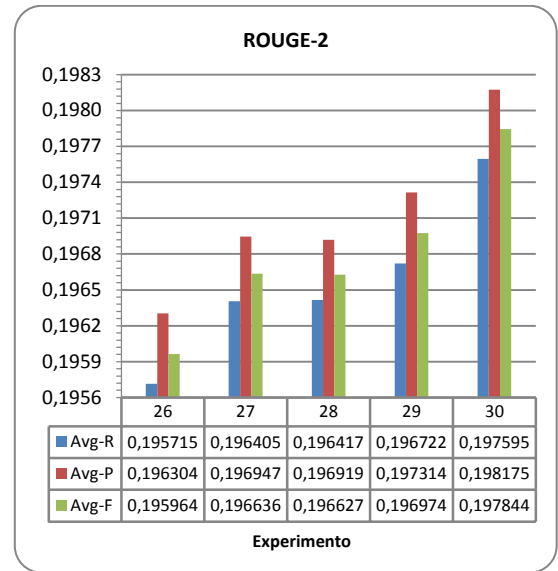
En la Tabla 30, se presentan los resultados de este bloque y en las Figuras 101, 102 y 103, se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
26	1	0,446027	0,447226	0,446513	0,195715	0,196304	0,195964	0,215344	0,216029	0,215633
27	2	0,447127	0,448195	0,447559	0,196405	0,196947	0,196636	0,216045	0,216671	0,216311
28	3	0,446095	0,447172	0,446529	0,196417	0,196919	0,196627	0,215705	0,216312	0,215960
29	4	0,447540	0,448867	0,448080	0,196722	0,197314	0,196974	0,216462	0,217171	0,216763
30	5	0,448102	0,449314	0,448604	0,197595	0,198175	0,197844	0,216824	0,217506	0,217116

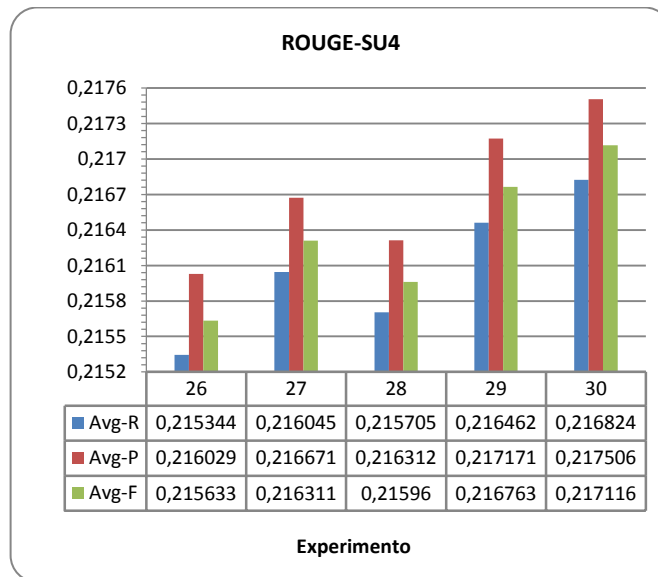
**Tabla 30.** Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1



**Figura 101.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1 con ROUGE-1



**Figura 102.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1 con ROUGE-2



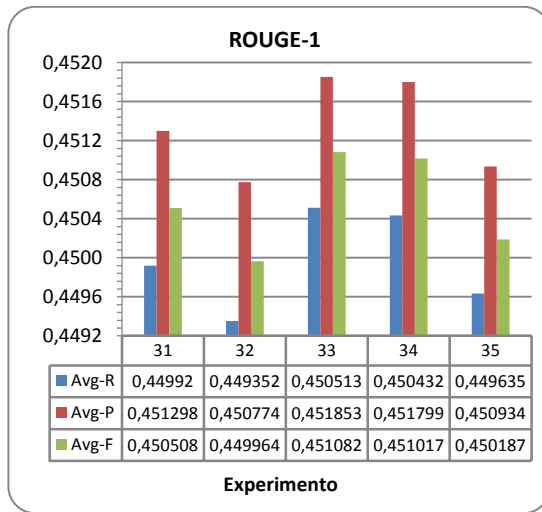
**Figura 103.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio1 con ROUGE-SU4

#### 4.2.2.2 SEGUNDO BLOQUE: Mutación de Intercambio 2

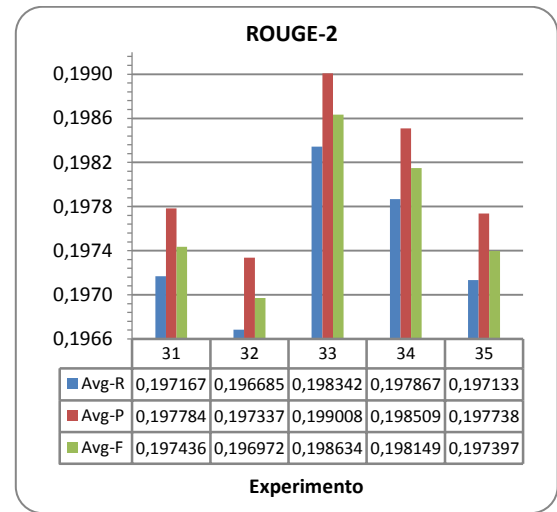
En laTabla 31, se presentan los resultados de este bloque y en las Figuras 104, 105 y 106, se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
31	1	0,449920	0,451298	0,450508	0,197167	0,197784	0,197436	0,217557	0,218287	0,217875
32	2	0,449352	0,450774	0,449964	0,196685	0,197337	0,196972	0,217022	0,217779	0,217354
33	3	<b>0,450513</b>	<b>0,451853</b>	<b>0,451082</b>	<b>0,198342</b>	<b>0,199008</b>	<b>0,198634</b>	<b>0,218176</b>	<b>0,218933</b>	<b>0,218507</b>
34	4	0,450432	0,451799	0,451017	0,197867	0,198509	0,198149	0,217980	0,218730	0,218310
35	5	0,449635	0,450934	0,450187	0,197133	0,197738	0,197397	0,217240	0,217946	0,217547

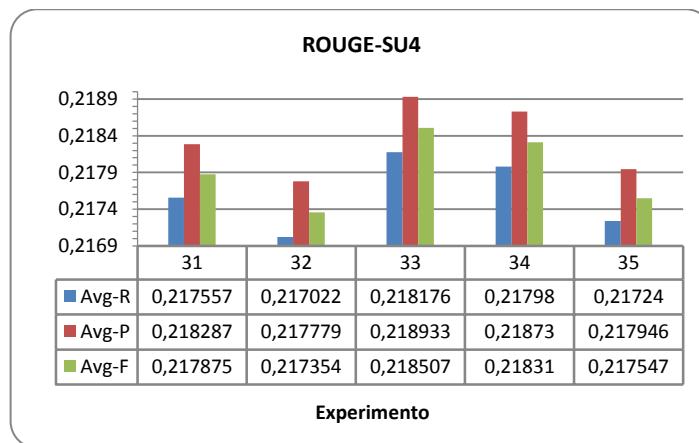
**Tabla 31.** Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2



**Figura 104.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-1



**Figura 105.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-2



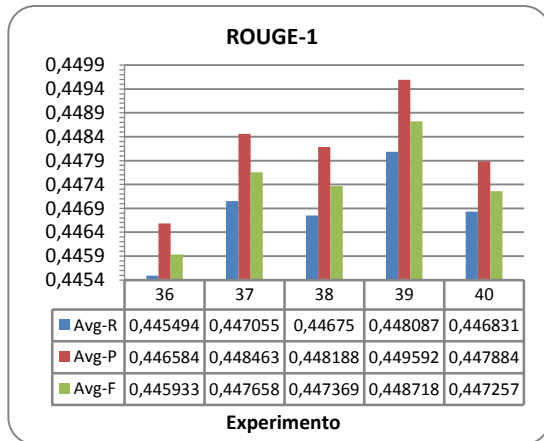
**Figura 106.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio2 con ROUGE-SU4

### 4.2.2.3 TERCER BLOQUE: Mutación de Intercambio 3

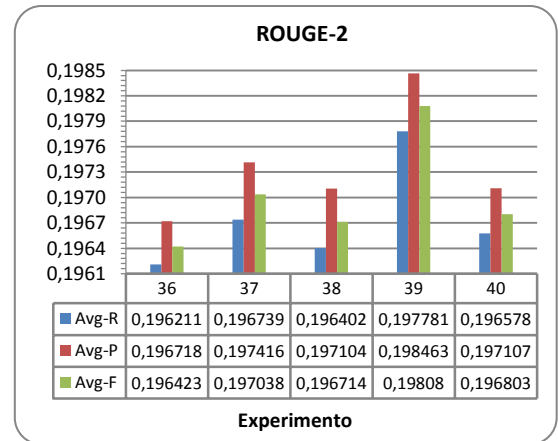
En la Tabla 32, se presentan los resultados de este bloque y en las Figuras 107, 108 y 109, se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
36	1	0,445494	0,446584	0,445933	0,196211	0,196718	0,196423	0,215630	0,216241	0,215886
37	2	0,447055	0,448463	0,447658	0,196739	0,197416	0,197038	0,216262	0,217046	0,216607
38	3	0,446750	0,448188	0,447369	0,196402	0,197104	0,196714	0,215791	0,216592	0,216145
39	4	<b>0,448087</b>	<b>0,449592</b>	<b>0,448718</b>	<b>0,197781</b>	<b>0,198463</b>	<b>0,198080</b>	<b>0,216984</b>	<b>0,217783</b>	<b>0,217331</b>
40	5	0,446831	0,447884	0,447257	0,196578	0,197107	0,196803	0,216070	0,216687	0,216332

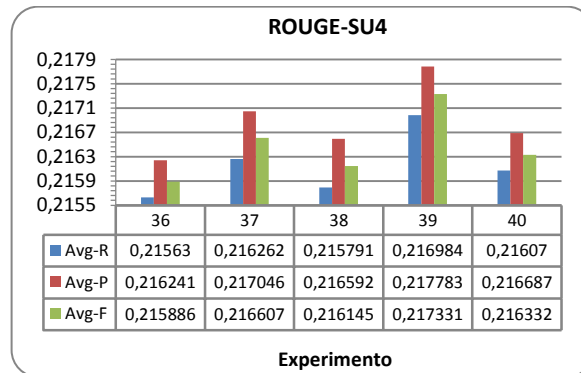
**Tabla 32.** Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3



**Figura 107.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-1



**Figura 108.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-2



**Figura 109.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación de Intercambio3 con ROUGE-SU4

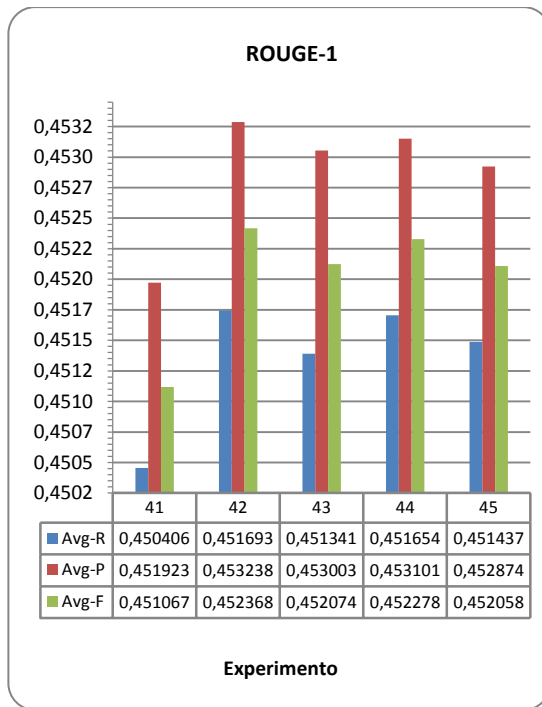


### 4.2.3 TERCER SUBGRUPO: Mutación Compuesta

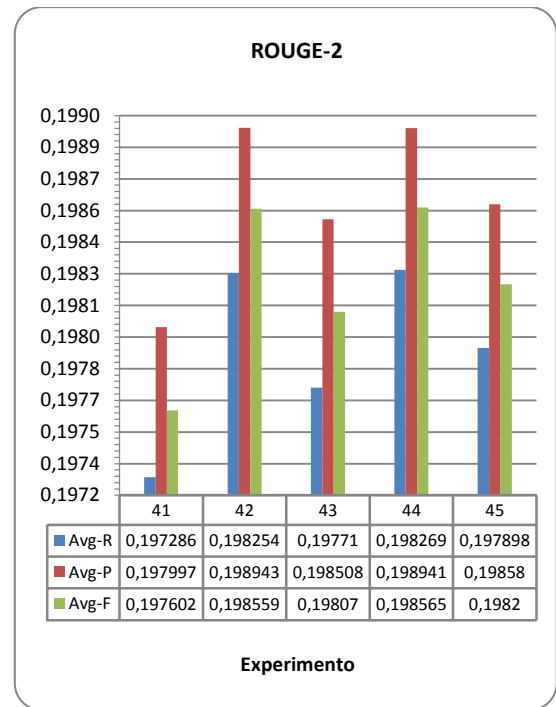
Al igual que en la Mutación de Bit, en este subgrupo se utiliza la técnica de *Mutación Compuesta*, conformada por el método de *Mutación de Inserción* y la *Mutación de Intercambio 2*, que, dentro de esta etapa, fue también el método de intercambio que mejor se comportó. En la Tabla 33, se presentan los resultados de este subgrupo y en las Figuras 110, 111 y 112, se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
41	1	0,450406	0,451923	0,451067	0,197286	0,197997	0,197602	0,217595	0,218416	0,217959
42	2	<b>0,451693</b>	<b>0,453238</b>	<b>0,452368</b>	0,198254	<b>0,198943</b>	0,198559	0,218661	0,219472	0,219021
43	3	0,451341	0,453003	0,452074	0,197710	0,198508	0,198070	0,218311	0,219216	0,218718
44	4	0,451654	0,453101	0,452278	<b>0,198269</b>	0,198941	<b>0,198565</b>	<b>0,218801</b>	<b>0,219585</b>	<b>0,219146</b>
45	5	0,451437	0,452874	0,452058	0,197898	0,198580	0,198200	0,218558	0,219338	0,218902

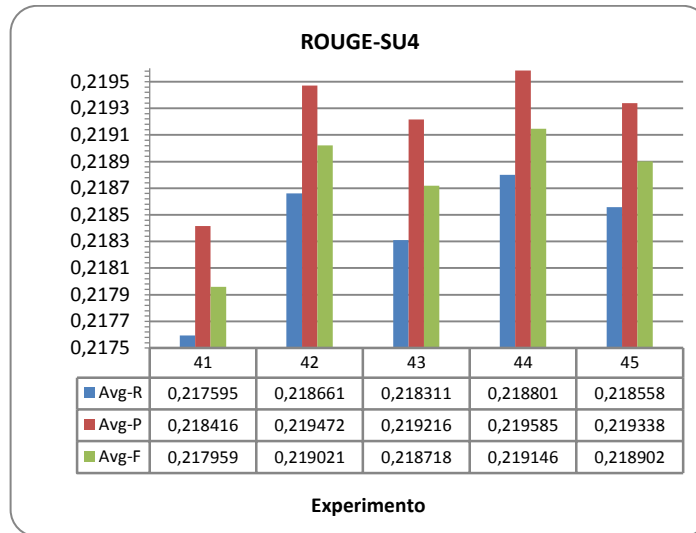
**Tabla 33.** Resultados de los experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta



**Figura 110.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-1



**Figura 111.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-2



**Figura 112.** Experimentos de Mutación Multi-Bit y Mutación Compuesta con ROUGE-SU4

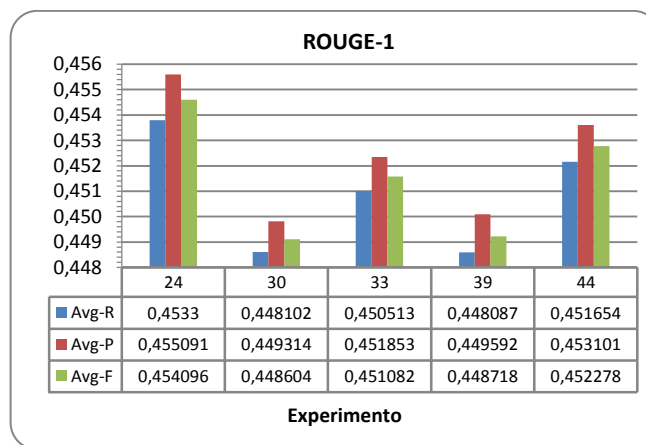
#### 4.2.4 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DEL SEGUNDO GRUPO

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que para el primer subgrupo de experimentos, las configuraciones con mejor desempeño fueron la 22 y la 24, sin embargo, el experimento 24 supera al 22 en la medida de R1 y también en los valores de precisión y medida-F de R2 y RSU-4, por lo que, para este subgrupo, el comportamiento más sobresaliente es presentado por el experimento 24, correspondiente a la pareja de métodos de selección: Basada en el Rango para el padre y Rueda de Ruleta para la madre (Ver Figuras 98, 99 y 100). Para discriminar más fácilmente la configuración con mejor desempeño dentro del segundo subgrupo es necesario analizar los mejores resultados obtenidos dentro de cada bloque que lo conforma. Así pues, para el primer bloque, correspondiente a la Mutación de Intercambio 1, se aprecia que los mejores resultados se obtienen con el experimento 30 en todas las medidas de ROUGE (Ver Figuras 101, 102 y 103), que corresponde a la pareja de métodos de selección de Rango Aleatorio para el padre y Selección Aleatoria para la madre. En el segundo bloque, concerniente a la Mutación de Intercambio 2, el experimento con mejor desempeño en las tres medidas de ROUGE es el 33 (Ver Figuras 104, 105 y 106), donde la pareja de métodos de selección corresponde a Torneo Probabilístico para el padre y la Selección Aleatoria para la madre. Finalmente, para el tercer bloque, que evalúa la Mutación de Intercambio 3, se observa que el experimento 39 ofrece el desempeño más sobresaliente (Ver Figuras 107, 108 y 109), en el que también se utilizó la pareja de técnicas de selección Basada en el Rango para el padre y Rueda de Ruleta para la madre. Al observar los resultados del tercer subgrupo, los experimentos con mejor desempeño son el 42 y el 44, sin embargo, a pesar de que el experimento 42 sobresale en R1, el experimento 44 lo supera en RSU4 y en los valores de recuerdo y medida-F de R2 (Ver Figuras 110, 111 y 112). Así pues, el mejor resultado de este grupo lo tiene el experimento 44, con la pareja de métodos de selección conformada por la Selección Basada en el Rango para el padre y Rueda de Ruleta para la madre. De esta forma, una vez elegidos los mejores experimentos de cada uno de los subgrupos del primer grupo, correspondiente a la Mutación Multi-Bit, se sintetizó esta información en la Tabla 34 para

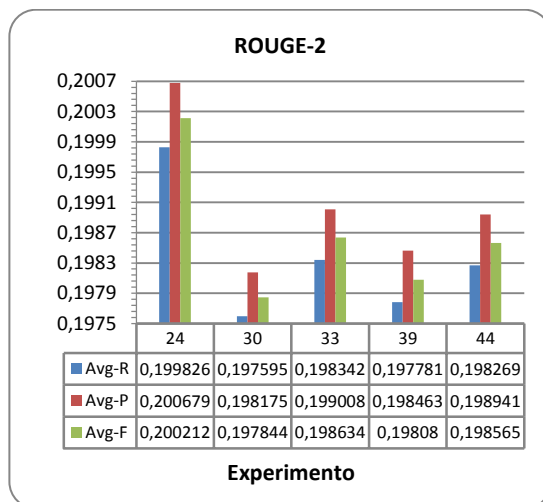
realizar un análisis comparativo y definir, finalmente, el mejor método de este grupo. En las Figuras 113, 114 y 115 se aprecian gráficamente estos datos.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
24	4	0,453300	0,455091	0,454096	0,199826	0,200679	0,200212	0,220060	0,221020	0,220493
30	5	0,448102	0,449314	0,448604	0,197595	0,198175	0,197844	0,216824	0,217506	0,217116
33	3	0,450513	0,451853	0,451082	0,198342	0,199008	0,198634	0,218176	0,218933	0,218507
39	4	0,448087	0,449592	0,448718	0,197781	0,198463	0,198080	0,216984	0,217783	0,217331
44	4	0,451654	0,453101	0,452278	0,198269	0,198941	0,198565	0,218801	0,219585	0,219146

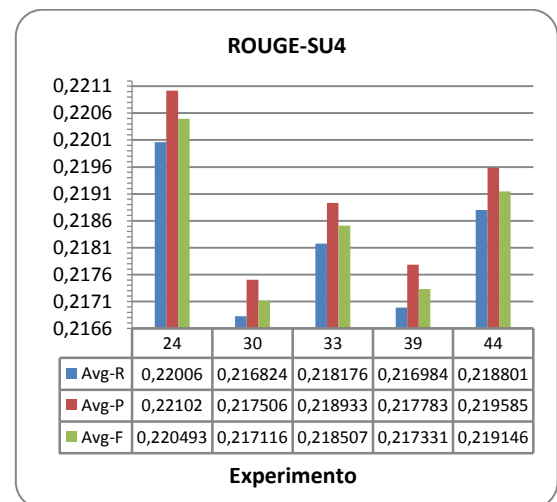
**Tabla 34.** Resultados de los cinco mejores experimentos del segundo grupo de mutación



**Figura 113.** Mejores experimentos del segundo grupo de mutación con ROUGE-1



**Figura 114.** Mejores experimentos del segundo grupo de mutación con ROUGE-2



**Figura 115.** Mejores experimentos del segundo grupo de mutación con ROUGE-RSU4

Teniendo en cuenta que cada uno de estos resultados corresponde al desempeño más alto obtenido con cada método de mutación, es claro que el mejor desempeño obtenido con la *Mutación Multi-Bit* se produce al acoplarla con el método de *Mutación de Inserción*, evaluado en el experimento 24. Por otro lado, con estos resultados se observa nuevamente que los métodos de selección para los progenitores *Basado en el Rango* y por *Rueda de Ruleta* mejoran su desempeño ajustados a los demás operadores estudiados.

### 4.3 ELECCIÓN DE LA MEJOR TÉCNICA DE MUTACIÓN

Una vez definido el método de mutación de cada grupo con los resultados más sobresalientes, se analiza el desempeño de cada uno, para determinar cuál es el mejor. Para ello, se recopila esta información en la Tabla 35, y se muestra gráficamente en las Figuras 116, 117 y 118.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
0	5	0,452407	0,453835	0,453020	0,199320	0,200000	0,199619	0,219517	0,220299	0,219860
24	4	0,453300	0,455091	0,454096	0,199826	0,200679	0,200212	0,220060	0,221020	0,220493

Tabla 35. Resultados de los dos mejores experimentos de los grupos de mutación

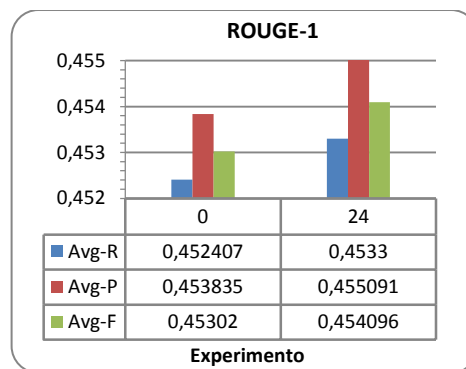


Figura 116. Mejores experimentos del operador de mutación con ROUGE-1

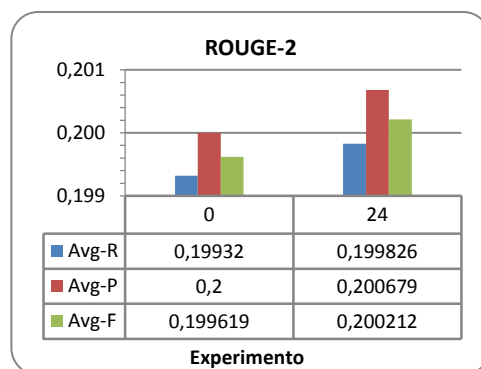


Figura 117. Mejores experimentos del operador de mutación con ROUGE-2

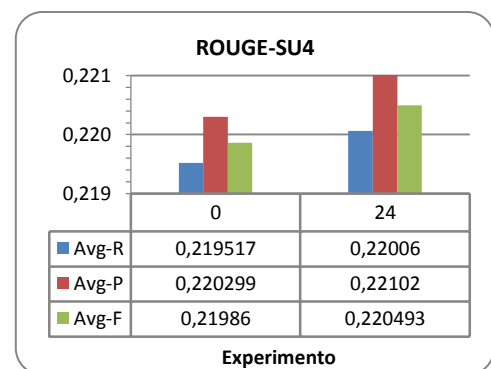


Figura 118. Mejores experimentos del operador de mutación con ROUGE-SU4

Según estos resultados, el mejor desempeño lo presentó el experimento 24, en el cual la técnica de mutación externa *Mutación Multibit* es acoplada con el método de mutación interna *Mutación de Inserción*. Aunque en este experimento se utiliza la pareja 4 de métodos de selección, la cual ha presentado el mejor comportamiento en la mayoría de experimentos desarrollados, la experimentación de la siguiente etapa se continuará realizando con cuatro parejas de selección, sin tener en cuenta la pareja 1 que presenta los resultados más bajos en la mayoría de los experimentos, pues aún puede ser posible encontrar, entre ellas, otra pareja, que al acoplarse con el operador de reemplazo, proporcione mejores resultados que los obtenidos hasta el momento.

## 5 CUARTA ETAPA: Elección Del Operador De Reemplazo

Para realizar la evaluación de los mecanismos de reemplazo estudiados, se tomaron los mejores métodos de cruce y mutación obtenidos hasta el momento, junto a las cuatro parejas de métodos de selección que aún se encuentran en evaluación. En esta etapa, se formaron seis grupos correspondientes a los diferentes métodos de reemplazo, como son *Reemplazo de Competencia Restringida*, *Reemplazo del Peor*, *Reemplazo del Peor Padre*, *Reemplazo del Cercano* y *Reemplazo de Similar*. En los ítems 5.1 al 5.6 se muestran los resultados y las gráficas correspondientes a los experimentos realizados en cada uno de los grupos de esta etapa. Finalmente, en el ítem 5.7 se sintetiza el análisis de los resultados obtenidos y se define el mejor método de reemplazo.

### 5.1 PRIMER GRUPO: Reemplazo Competencia Restringida

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	2	0,452851	0,454432	0,453542	<b>0,199845</b>	0,200567	0,200166	<b>0,220087</b>	0,220925	0,220459
2	3	0,451925	0,453321	0,452522	0,198935	0,199601	0,199227	0,219415	0,220187	0,219753
3	4	<b>0,453300</b>	<b>0,455091</b>	<b>0,454096</b>	0,199826	<b>0,200679</b>	<b>0,200212</b>	0,220060	<b>0,221020</b>	<b>0,220493</b>
4	5	0,451940	0,453421	0,452582	0,199314	0,200035	0,199634	0,219483	0,220296	0,219842

Tabla 36. Resultados del primer grupo de experimentos del operador de reemplazo

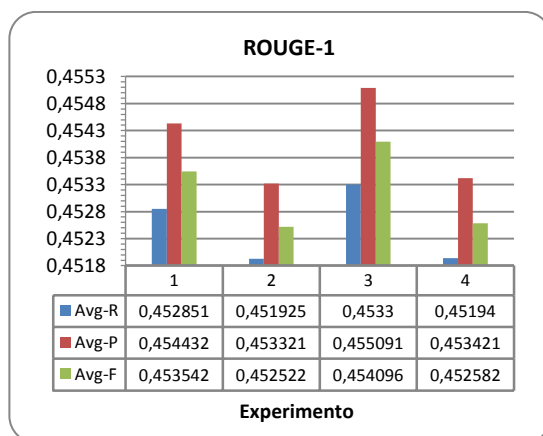


Figura 119. Primer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1

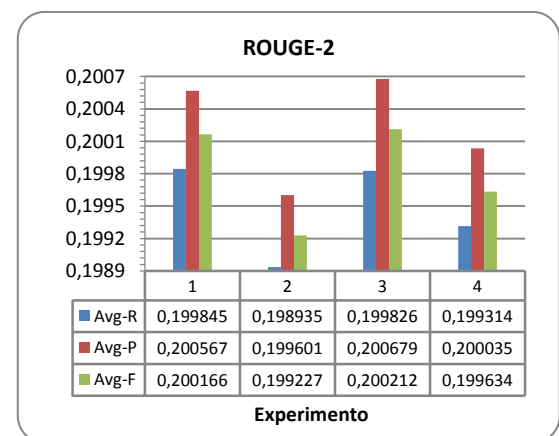


Figura 120. Primer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2

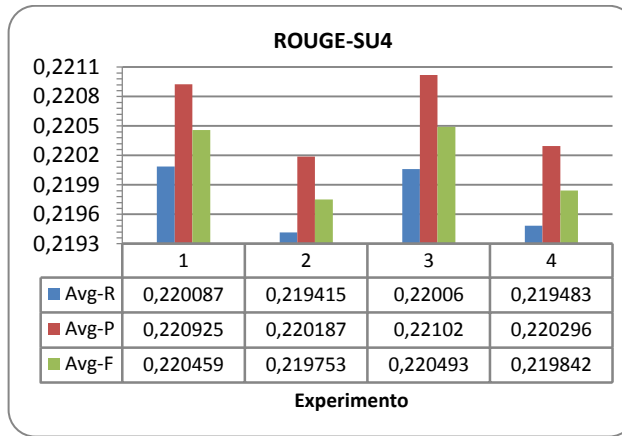


Figura 121. Primer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4

## 5.2 SEGUNDO GRUPO: Reemplazo Aleatorio

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
5	2	0,447512	0,448674	0,447992	0,196862	0,197489	0,197134	0,216310	0,216981	0,216597
6	3	<b>0,449830</b>	<b>0,451071</b>	<b>0,450350</b>	<b>0,199703</b>	<b>0,200296</b>	<b>0,199958</b>	<b>0,218092</b>	<b>0,218746</b>	<b>0,218371</b>
7	4	0,447941	0,449232	0,448486	0,197767	0,198405	0,198044	0,216730	0,217425	0,217029
8	5	0,448814	0,450009	0,449305	0,198333	0,198899	0,198573	0,217239	0,217864	0,217501

Tabla 37. Resultados del segundo grupo de experimentos del operador de reemplazo

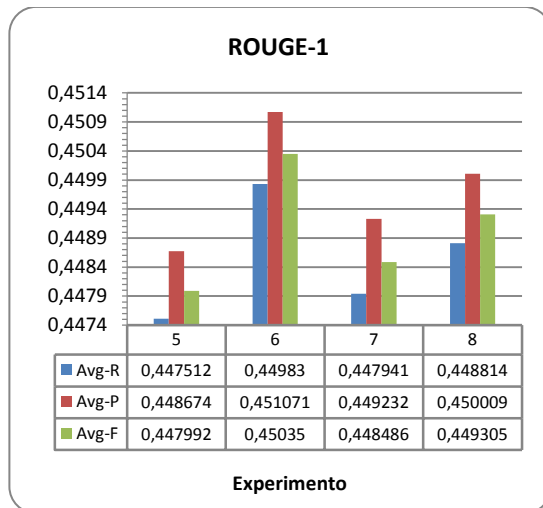


Figura 122. Segundo grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1

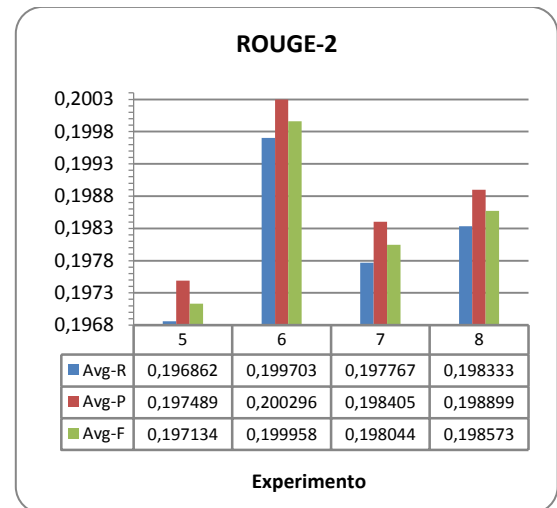


Figura 123. Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2

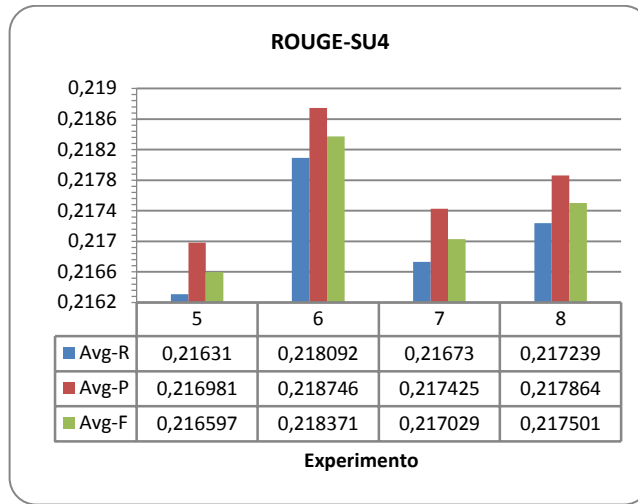


Figura 124. Segundo grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4

### 5.3 TERCER GRUPO: Reemplazo Del Peor

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
9	2	0,449580	0,451929	0,450517	0,197759	0,198873	0,198205	0,217947	0,219193	0,218447
10	3	0,449948	0,452226	0,450851	0,197681	0,198742	0,198115	0,217912	0,219107	0,218397
11	4	<b>0,450101</b>	<b>0,452556</b>	<b>0,451111</b>	<b>0,197830</b>	<b>0,198984</b>	<b>0,198313</b>	<b>0,218201</b>	<b>0,219485</b>	<b>0,218735</b>
12	5	0,449381	0,451873	0,450307	0,197155	0,198442	0,197635	0,217791	0,219191	0,218316

Tabla 38. Resultados del tercer grupo de experimentos del operador reemplazo

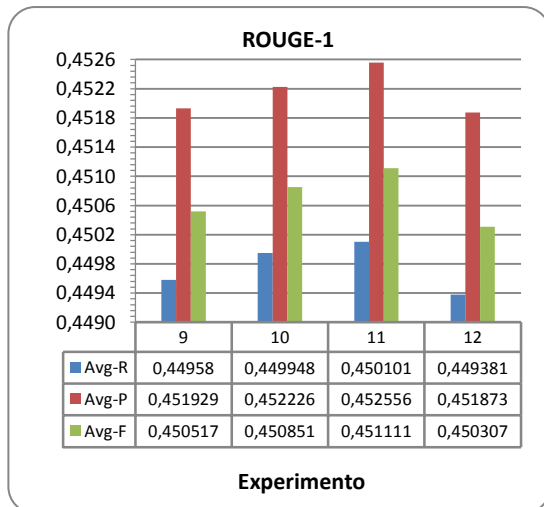


Figura 125. Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1

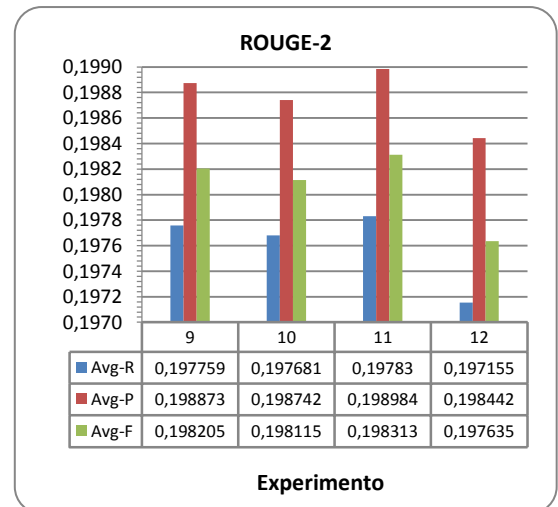


Figura 126. Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2

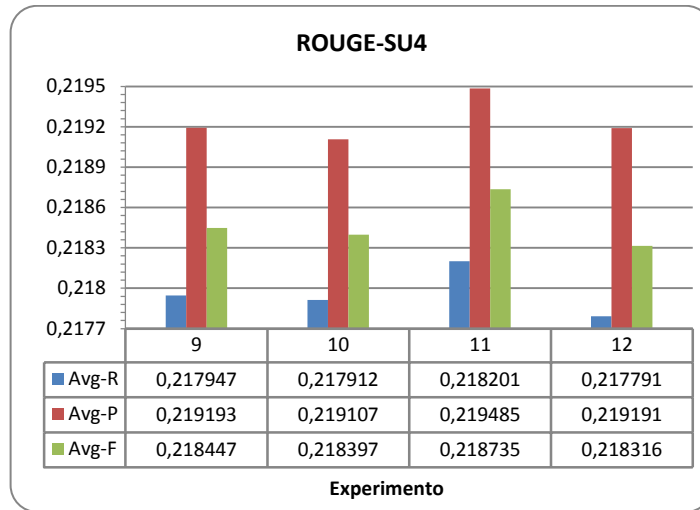


Figura 127. Tercer grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4

#### 5.4 CUARTO GRUPO: Reemplazo Del Peor Progenitor

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
13	2	0,449731	0,451729	0,450533	0,198883	0,199898	0,199294	0,217983	0,219076	0,218425
14	3	0,449284	0,450543	0,449811	0,198309	0,198899	0,198562	0,217572	0,218241	0,217858
15	4	0,447967	0,449388	0,448557	0,197023	0,197715	0,197319	0,216718	0,217491	0,217047
16	5	0,448141	0,449827	0,448862	0,197655	0,198450	0,198002	0,216935	0,217816	0,217317

Tabla 39. Resultados del cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo

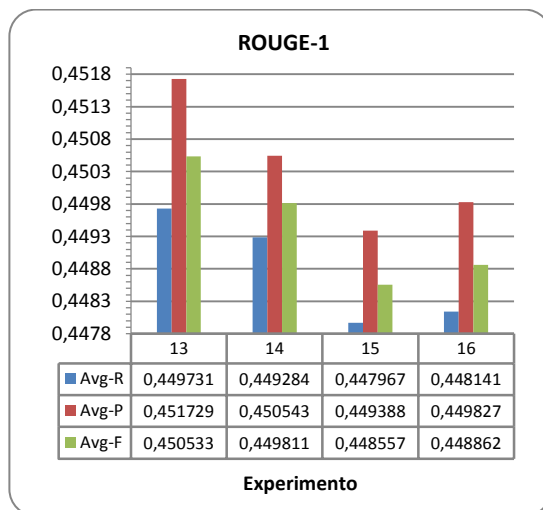


Figura 128. Cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1

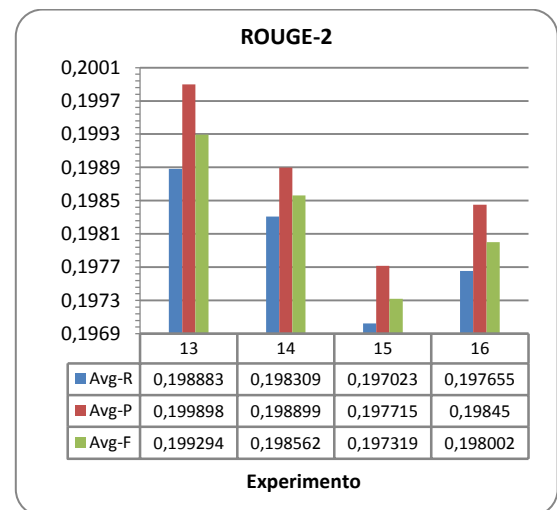


Figura 129. Cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2



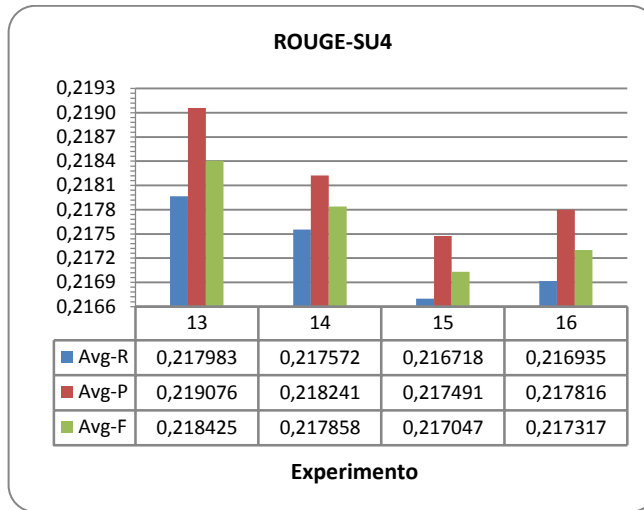


Figura 130. Cuarto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4

### 5.5 QUINTO GRUPO: Reemplazo Del Cercano

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
17	2	0,450605	0,452059	0,451233	<b>0,200889</b>	<b>0,201575</b>	<b>0,201191</b>	0,219448	0,220206	0,219779
18	3	0,448613	0,449717	0,449063	0,198589	0,199084	0,198795	0,217390	0,217946	0,217619
19	4	0,450534	0,451944	0,451138	0,199351	0,199965	0,199616	0,218502	0,219215	0,218810
20	5	<b>0,451239</b>	<b>0,452489</b>	<b>0,451762</b>	0,200840	0,201422	0,201088	<b>0,219645</b>	<b>0,220303</b>	<b>0,219925</b>

Tabla 40. Resultados del quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo

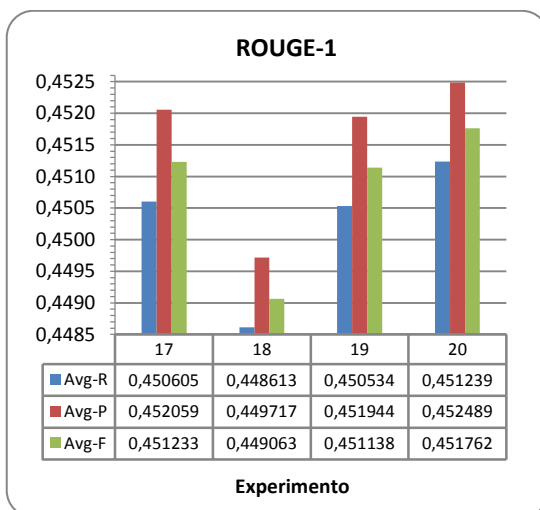


Figura 131. Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1

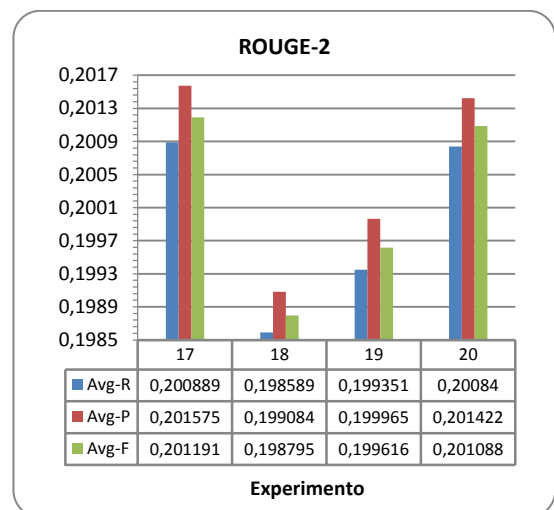


Figura 132. Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2

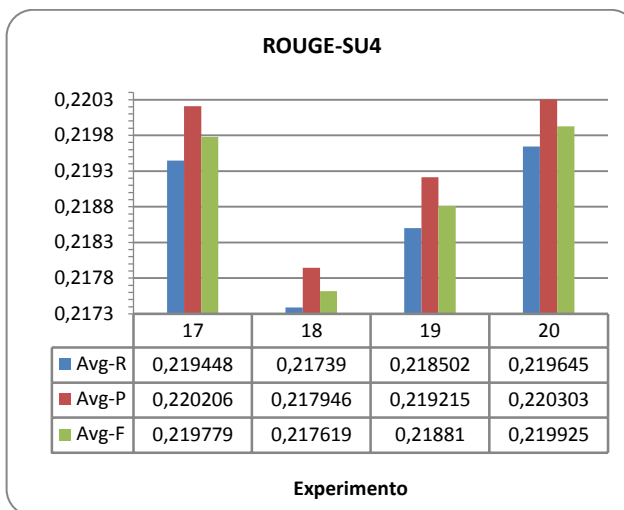


Figura 133. Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4

### 5.6 SEXTO GRUPO: Reemplazo Del Similar

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
21	2	0,451014	0,452110	0,451460	0,200738	0,201276	0,200965	0,219813	0,220415	0,220065
22	3	0,450701	0,451867	0,451183	0,199745	0,200262	0,199962	0,218766	0,219354	0,219012
23	4	<b>0,451899</b>	<b>0,453231</b>	<b>0,452460</b>	<b>0,201199</b>	<b>0,201857</b>	<b>0,201484</b>	<b>0,220127</b>	<b>0,220847</b>	<b>0,220436</b>
24	5	0,449419	0,450643	0,449930	0,198536	0,199084	0,198768	0,217876	0,218507	0,218143

Tabla 41. Resultados del sexto grupo de experimentos del operador reemplazo

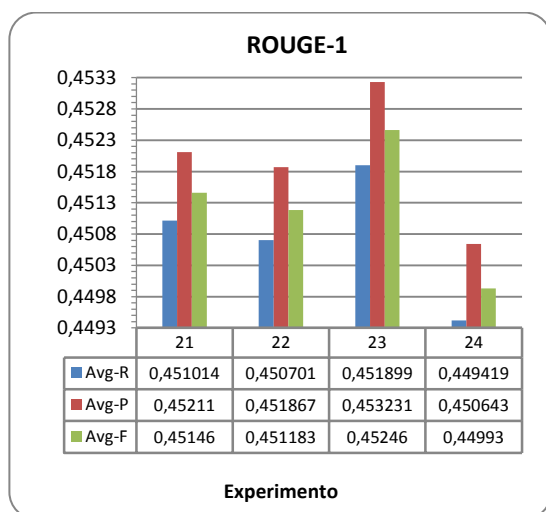


Figura 134. Sexto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1

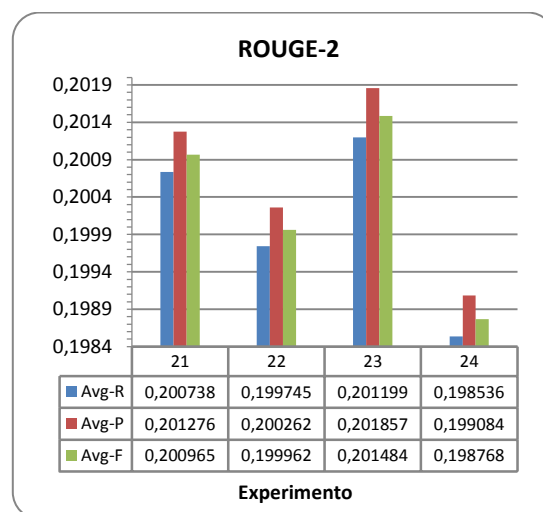
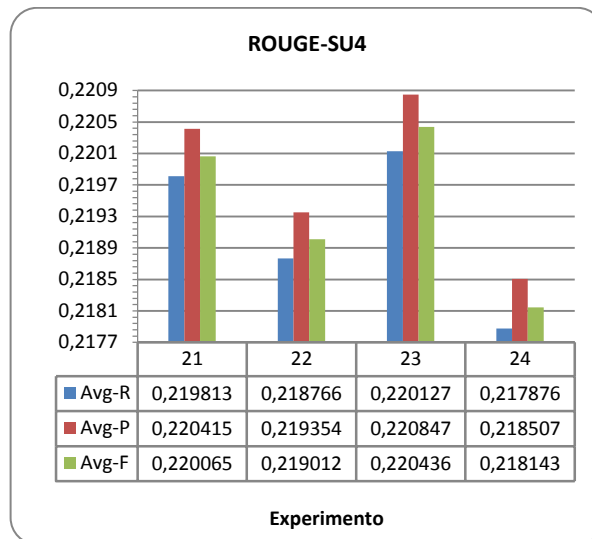


Figura 135. Quinto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2



**Figura 136.** Sexto grupo de experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4

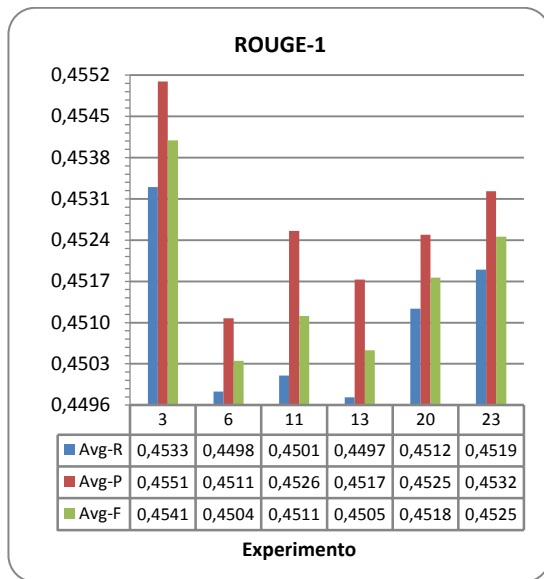
## 5.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta etapa, en el primer grupo, donde se evaluó el *Reemplazo de Competencia Restringida*, se observa que el mejor desempeño lo presentó el Experimento 3, que prevalece en la medida de R1, mientras que en R2 y RSU4 sólo es superado por el Experimento 1 en el valor de recuerdo. En el segundo, tercer y cuarto grupo, correspondientes a la evaluación del *Reemplazo Aleatorio*, *Reemplazo del Peor* y *Reemplazo del Peor Padre*, se aprecia claramente que el mejor resultado lo presentaron el Experimento 6, 11 y 13, respectivamente, pues se destacan en las tres medidas de ROUGE. En la evaluación del *Reemplazo del Cercano*, considerada en el quinto grupo, se aprecia que el mejor desempeño lo presentó el Experimento 20, porque, aunque el Experimento 17 lo supere en R2, obtuvo los valores más altos en las medidas de R1 y RSU4. Finalmente en el sexto grupo, en el cual se evaluó el *Reemplazo del Similar*, el experimento 23 obtuvo los mejores resultados en las tres medidas de ROUGE.

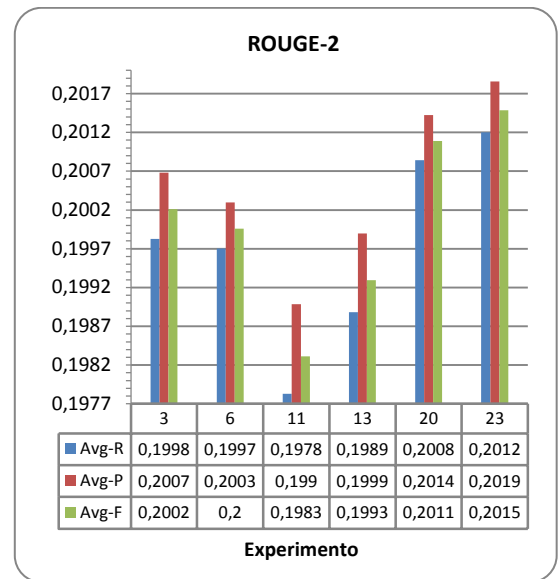
En la Tabla 42 se recopiló la información de estos experimentos, para realizar un análisis comparativo y definir el mejor método de reemplazo.

Exp.	Pareja	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>3</b>	<b>4</b>	<b>0,453300</b>	<b>0,455091</b>	<b>0,454096</b>	0,199826	0,200679	0,200212	0,220060	<b>0,221020</b>	<b>0,220493</b>
<b>6</b>	<b>3</b>	0,449830	0,451071	0,450350	0,199703	0,200296	0,199958	0,218092	0,218746	0,218371
<b>11</b>	<b>4</b>	0,450101	0,452556	0,451111	0,197830	0,198984	0,198313	0,218201	0,219485	0,218735
<b>13</b>	<b>2</b>	0,449731	0,451729	0,450533	0,198883	0,199898	0,199294	0,217983	0,219076	0,218425
<b>20</b>	<b>5</b>	0,451239	0,452489	0,451762	0,200840	0,201422	0,201088	0,219645	0,220303	0,219925
<b>23</b>	<b>4</b>	0,451899	0,453231	0,452460	<b>0,201199</b>	<b>0,201857</b>	<b>0,201484</b>	<b>0,220127</b>	0,220847	0,220436

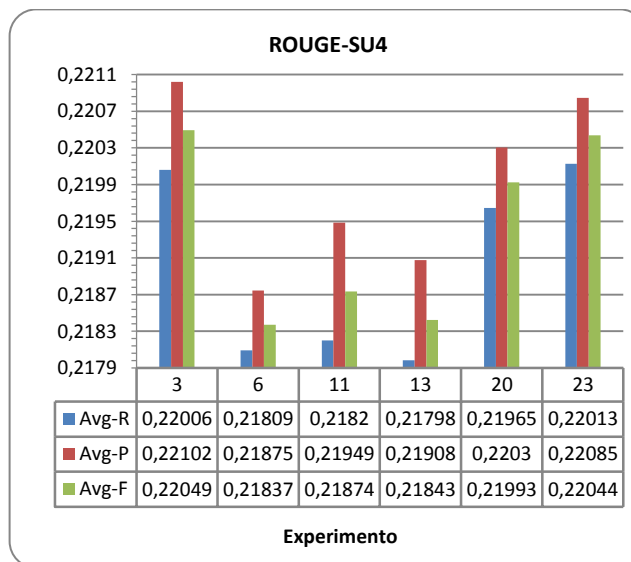
**Tabla 42.** Resultados de los seis mejores experimentos de los grupos de reemplazo



**Figura 137.** Mejores experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-1



**Figura 138.** Mejores experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-2



**Figura 139.** Mejores experimentos del operador de reemplazo con ROUGE-SU4

Analizando las gráficas anteriores, se observa, en primer lugar, que los experimentos 3 y 23 son los más destacados dentro de esta etapa de evaluación, sobresaliendo cada uno en R1 y R2, respectivamente, mientras que en RSU4 su comportamiento es muy similar, pero el experimento 3 supera al 23 en los valores de precisión y medida-F, por lo tanto el método de *Reemplazo de Competencia Restringida*, evaluado en el experimento 3, es el que mejor desempeño tuvo entre los seis métodos estudiados. En segundo lugar, finalizada la evaluación de todos los operadores necesarios para configurar adecuadamente el algoritmo memético, se aprecia que la pareja que tuvo el mejor acople

con todos los operadores fue la 4, como se había observado en resultados anteriores. Así pues, los mejores métodos de selección son *Selección Basada en el Rango* para el padre y *Selección Rueda de Ruleta* para la madre.

De esta forma, como producto final de esta etapa se obtiene el esquema del MA que se muestra en la Tabla 43, con el cual se continúa el ciclo de definición del operador de búsqueda local.

<b>Operador</b>	<b>Método</b>
<i>Selección padre</i>	Basada en el Rango
<i>Selección madre</i>	Rueda de Ruleta
<i>Cruce</i>	Cruce de un Punto
<i>Mutación Externa</i>	Mutación Multi-Bit
<i>Mutación Interna</i>	Mutación de Inserción
<i>Reemplazo</i>	Competencia Restringida
<i>Optimización Local</i>	Búsqueda Local Básica del Mejor

**Tabla 43.** Configuración del MA al final del ciclo de definición de operadores reproductivos

***ANEXO C – DEFINICIÓN DEL OPERADOR DE  
BÚSQUEDA LOCAL***

---

## **1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

El mecanismo de optimización local más utilizado es la aplicación de *búsqueda local* y, en efecto, es la técnica utilizada en el presente trabajo para tal fin. Para definir cuál método de búsqueda local sería el más apropiado para la solución propuesta en esta investigación, se indagaron varias técnicas que presentan, dentro de la literatura, registros de buen comportamiento en otras áreas de estudio, y cuyo desempeño será analizado dentro de la generación automática de resúmenes al incorporarse dentro del algoritmo memético.

El proceso de definición del operador de búsqueda local se llevó a cabo tras la definición de los operadores reproductivos del algoritmo memético y, al igual que en dicho ciclo, se utilizaron sólo 10 conjuntos de documentos de la colección de DUC 2002.

Por otro lado, este proceso se dividió en 5 etapas, cada etapa se enfoca en el análisis de un mecanismo de búsqueda local así: *Búsqueda Local Básica*, *Búsqueda Local de Entorno Variable*, *Búsqueda Local Guiada*, *Búsqueda Tabú* y, finalmente, *Búsqueda Local Iterativa*. Como se verá en las siguientes secciones, la primera etapa involucra una técnica de búsqueda local simple, mientras que las demás etapas estudian propuestas más elaboradas para ayudar al mecanismo de búsqueda local a enfrentar el estancamiento en óptimos locales y conseguir soluciones más prometedoras, por tal motivo este tipo de búsquedas son en ocasiones denominadas *técnicas de búsqueda global* [32]. De esta manera, cada uno de los métodos descritos a partir de la segunda etapa, parten de la técnica especificada en la primera para llegar, a través de la adaptación, a una estrategia de búsqueda más sofisticada. Al final de este proceso, se recopilan las mejores configuraciones obtenidas por cada etapa, para establecer con cuál de ellas se consiguió un mejor desempeño.

## **2 PRIMERA ETAPA: BÚSQUEDA LOCAL BÁSICA**

La definición de los operadores reproductivos que integrarían el algoritmo memético fue uno de los aspectos que debieron abordarse al inicio de la investigación, sin embargo, para la realización de ese proceso era necesario el establecimiento de una técnica de búsqueda local que acompañara su desarrollo. Con el fin de acelerar el inicio de dicha fase y centrar el análisis en el comportamiento de los operadores reproductivos, la técnica seleccionada debería ser lo suficientemente simple como para que su desarrollo no implicase mucho tiempo, y que, aun así, mantuviera la estructura y objetivo fundamentales de una búsqueda local. De esta forma, gracias a su simplicidad y efectividad, el mecanismo seleccionado como punto de partida es el conocido como *Búsqueda Local Básica*. Así pues, la primera etapa de definición del operador de búsqueda local estuvo dirigida hacia el estudio de este método.

Esta etapa está conformada por cuatro experimentos, donde cada uno considera la implementación habitual de la *Búsqueda Local Básica*. La diferencia entre ellos, radica en el mecanismo de transición utilizado. De este modo, el primer experimento aplica una estrategia exhaustiva, buscando llegar a la siguiente solución a través del mejor movimiento. Los otros tres experimentos, utilizan una técnica basada en una estrategia ansiosa, pretendiendo encontrar la siguiente solución por medio de un movimiento

aleatorio. En ese sentido, los tres experimentos emplean formas diferentes de seleccionar los bits, o frases, que participarán en un movimiento. En la búsqueda evaluada en el primer experimento, se ordenan las frases activas del agente a optimizar de acuerdo a su similitud coseno con el documento<sup>12</sup>; así pues, un movimiento se determina por la activación de la frase con más similitud con el documento y la desactivación de aquella con la peor similitud (Ver Figura 140). En el segundo experimento, se escoge una frase aleatoriamente del grupo de frases desactivadas para sustituir la frase activa con menor similitud (Ver Figura 141). En el tercer experimento, tanto la frase que será activada como la que se desactivará, son seleccionadas aleatoriamente para realizar un movimiento (Ver Figura 142). El cuarto experimento, utiliza la técnica de selección por ruleta para escoger la frase del grupo de frases desactivadas que sustituirá la frase activa con menor similitud con el documento (Ver Figura 143).

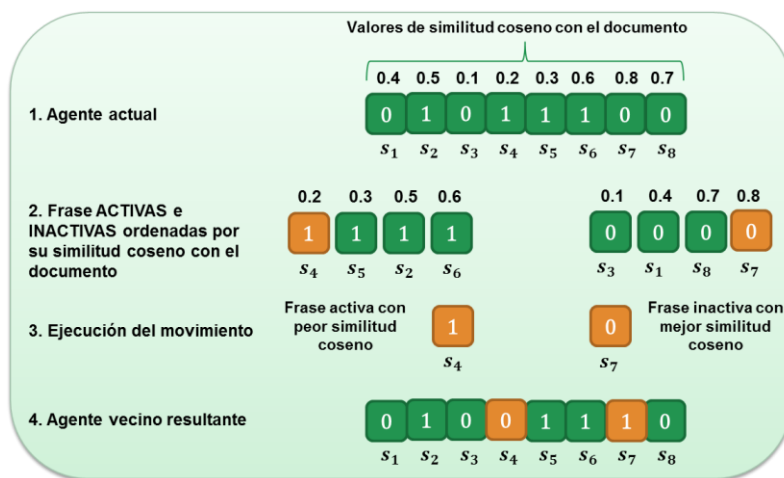


Figura 140. Movimiento con estrategia exhaustiva

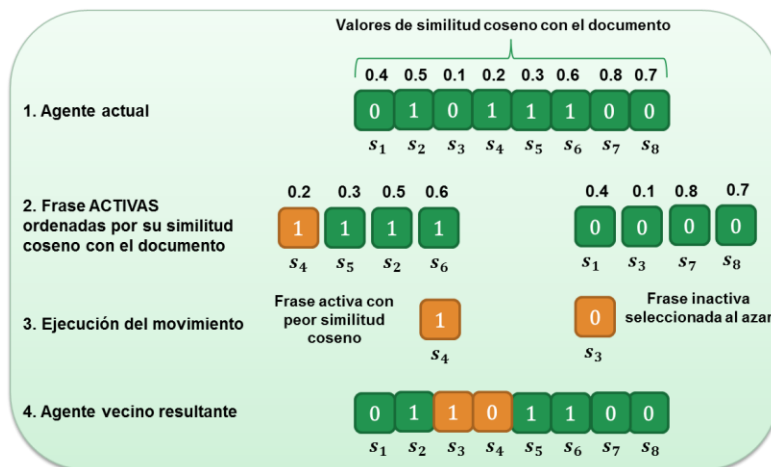


Figura 141. Movimiento con estrategia exhaustiva-ansiosa

<sup>12</sup> Similitud coseno con todas las frases del documento.





Figura 142. Movimiento con estrategia ansiosa

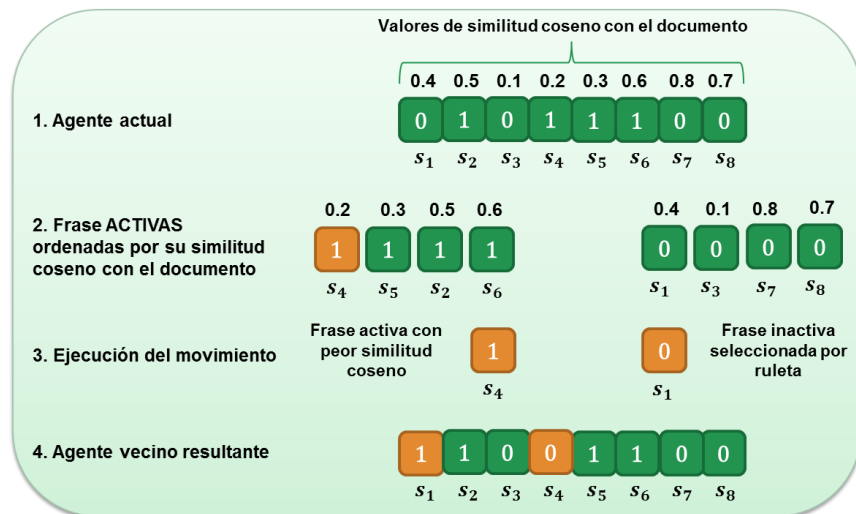
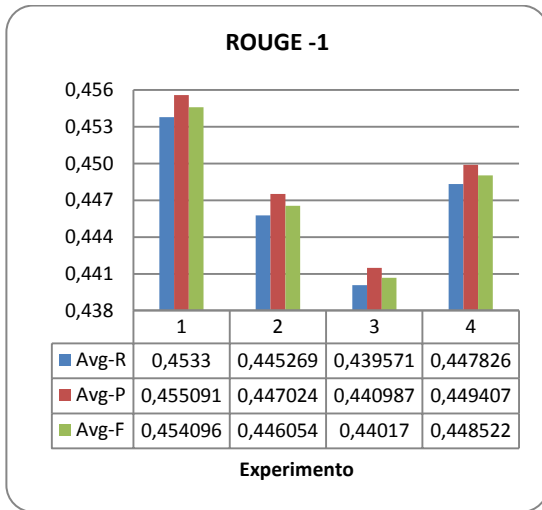


Figura 143. Movimiento con estrategia exhaustiva-ansiosa

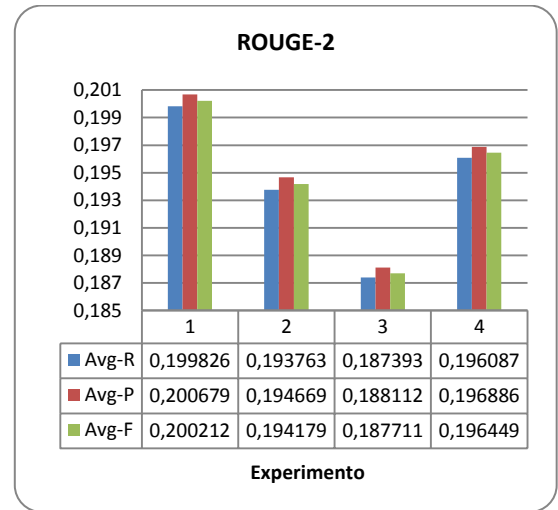
En la Tabla 44 se presenta cada experimento junto a los resultados de las medidas ROUGE respectivas. Las Figuras 144, 145 y 146 muestran gráficamente los resultados.

Exp.	Técnica Búsqueda Local	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	BL Básica del Mejor	0,453300	0,455091	0,454096	0,199826	0,200679	0,200212	0,220060	0,221020	0,220493
2	BL Básica Aleatoria	0,445269	0,447024	0,446054	0,193763	0,194669	0,194179	0,214872	0,215883	0,215334
3	BL Básica de Vecindario Aleatorio	0,439571	0,440987	0,440170	0,187393	0,188112	0,187711	0,208787	0,209591	0,209139
4	BL Básica por Ruleta	0,447826	0,449407	0,448522	0,196087	0,196886	0,196449	0,216708	0,217597	0,217107

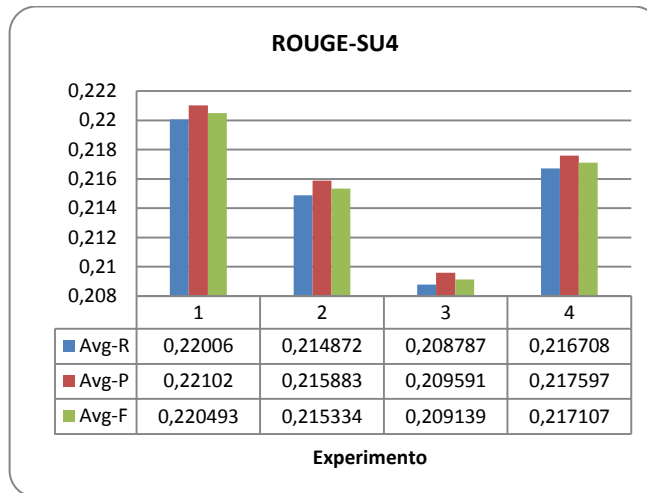
Tabla 44. Resultados de experimentos de Búsqueda Local Básica



**Figura 144.** Búsqueda Local Básica, ROUGE-1



**Figura 145.** Búsqueda Local Básica, ROUGE-2



**Figura 146.** Búsqueda Local Básica, ROUGE-SU4

Antes de estudiar los datos presentados, es importante tener en cuenta que el primer experimento dentro de esta etapa, es el producto del ciclo de definición de operadores reproductivos del algoritmo memético, por lo que sus resultados corresponden a los del mejor experimento obtenido en dicho ciclo.

Al observar los resultados, es evidente que el mejor comportamiento es presentado por el método *Básico del Mejor* (Exp. 1). Esto, indica que, en este caso, mantener una estrategia dirigida es mucho mejor que una aleatoria, ya que hay más garantía de que la realización de un movimiento conlleve a una mejora, pues, de hecho, el peor desempeño es mostrado por el Experimento 3, el cual involucra una técnica de movimiento basada completamente en el azar.

### 3 SEGUNDA ETAPA: BÚSQUEDA LOCAL POR ENTORNOS VARIABLES

La segunda etapa de definición del operador de búsqueda local está orientada hacia el análisis del comportamiento de la *Búsqueda Local de Entorno Variable*. En este trabajo se manejaron tres tipos de búsqueda por entornos variables: la *Descendente*, la *Reducida* y la *Básica*. De esta manera, esta etapa se divide en tres grupos, donde el primero evalúa la aplicación de la *Búsqueda Local por Entornos Variables Descendente*, mientras que el segundo está dirigido al estudio de la *Búsqueda Local por Entornos Variables Reducida* y, finalmente, el tercer grupo se enfoca en el estudio de la *Búsqueda Local por Entornos Variables Básica*. Para realizar estos estudios se diseñaron diferentes formas de generar la vecindad de un agente, las cuales son descritas en la Tabla 45.

Tipo De Vecindad	Descripción del movimiento
V1	Reemplazar la frase activa con la similitud al documento más baja por una del grupo de frases desactivadas que satisfaga las restricciones de longitud del resumen y permita obtener el mejor agente de la vecindad.
V2	Reemplazar la frase activa con la similitud al documento más baja por la primera del grupo de frases inactivas que satisfaga las restricciones de longitud del resumen y permita obtener el primer mejor agente de la vecindad.
V3	Consiste en ir recorriendo las frases activas de acuerdo a su similitud al documento en forma ascendente, para ser reemplazada por una frase inactiva que satisfaga las restricciones de longitud del resumen, hasta encontrar el reemplazo que permita obtener el primer mejor agente de la vecindad.
V4	Consiste en ir recorriendo las frases activas de acuerdo a su similitud al documento en forma ascendente, para ser reemplazada por la frase inactiva que satisfaga las restricciones de longitud del resumen, hasta encontrar el reemplazo que permita obtener el mejor agente de la vecindad.
V5	Consiste en recorrer las frases de acuerdo a su similitud al documento en forma ascendente, para determinar que frase es conveniente eliminar sin que afecte las restricciones de longitud del resumen y se obtenga el mejor de los vecinos.
V6	Consiste en determinar qué frase inactiva es la más conveniente adicionar sin que afecte las restricciones de longitud del resumen y se obtenga el mejor de los vecinos.
VAlatoria	Consiste en ir recorriendo las frases activas de acuerdo a su similitud al documento en forma ascendente, para ser reemplazada por una frase inactiva, seleccionada al azar, hasta encontrar el reemplazo que permita obtener el primer mejor agente de la vecindad.
VCompleta	Consiste en ir recorriendo las frases activas con la similitud al documento más baja para reemplazarlas por frases inactivas, seleccionadas también de acuerdo a su valor de similitud, hasta encontrar el reemplazo que permita obtener el mejor agente de la vecindad en su totalidad.

**Tabla 45.** Descripción de estrategias de generación de vecindades

En las Figuras 147 a la 154 se describen los diferentes tipos de vecindades, mediante un ejemplo.

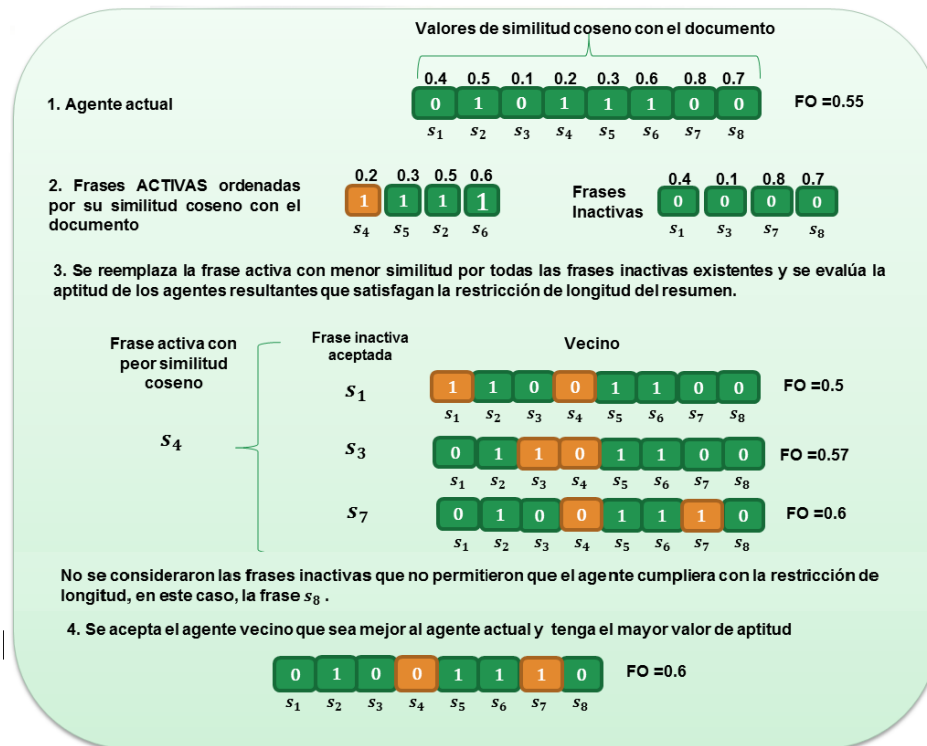


Figura 147. Esquema de funcionamiento de la Vecindad 1

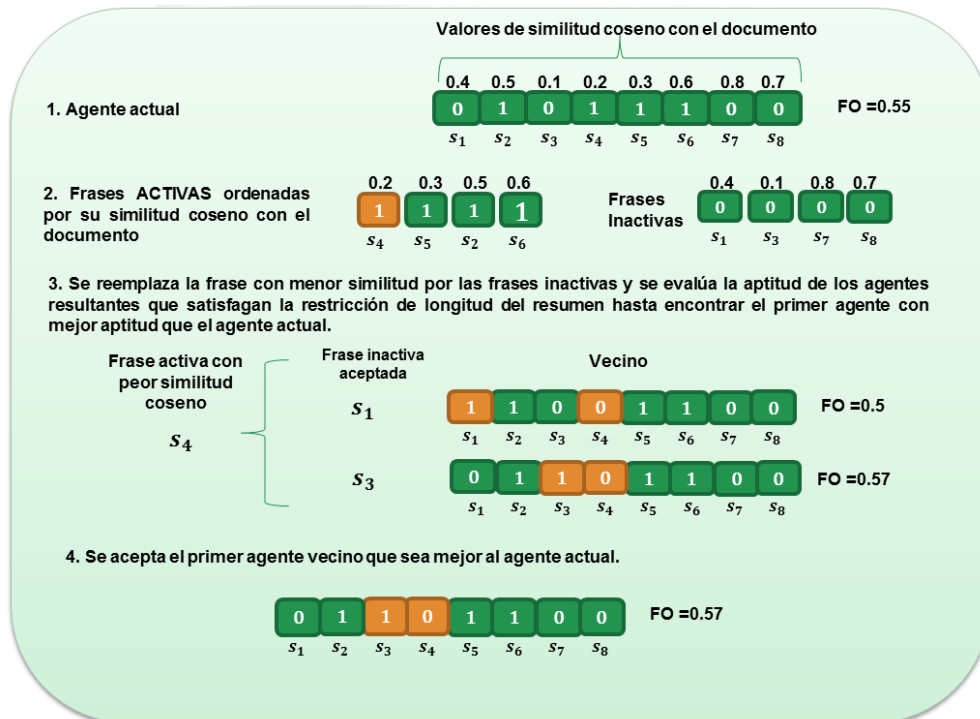


Figura 148. Esquema de funcionamiento de la Vecindad 2

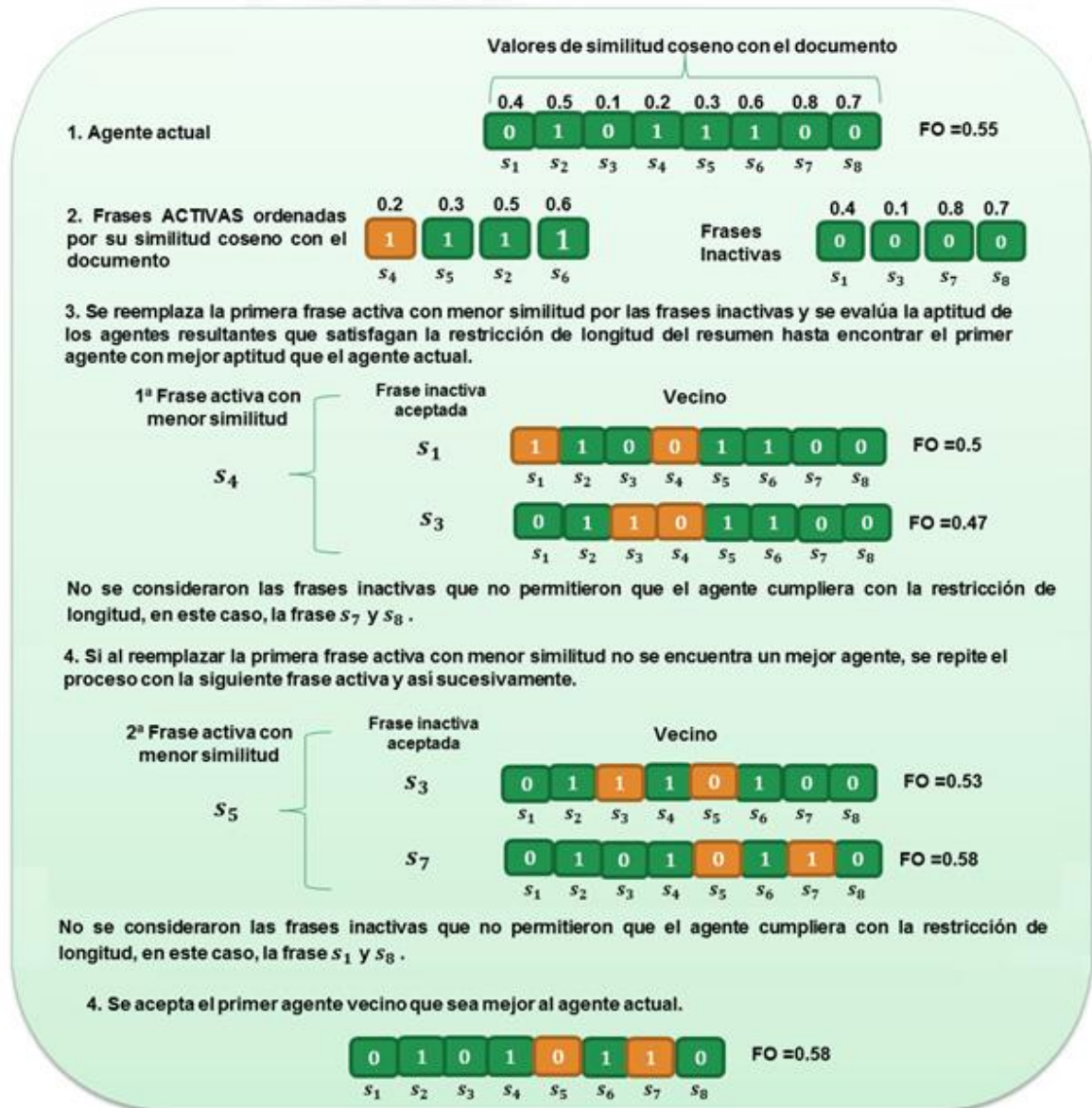
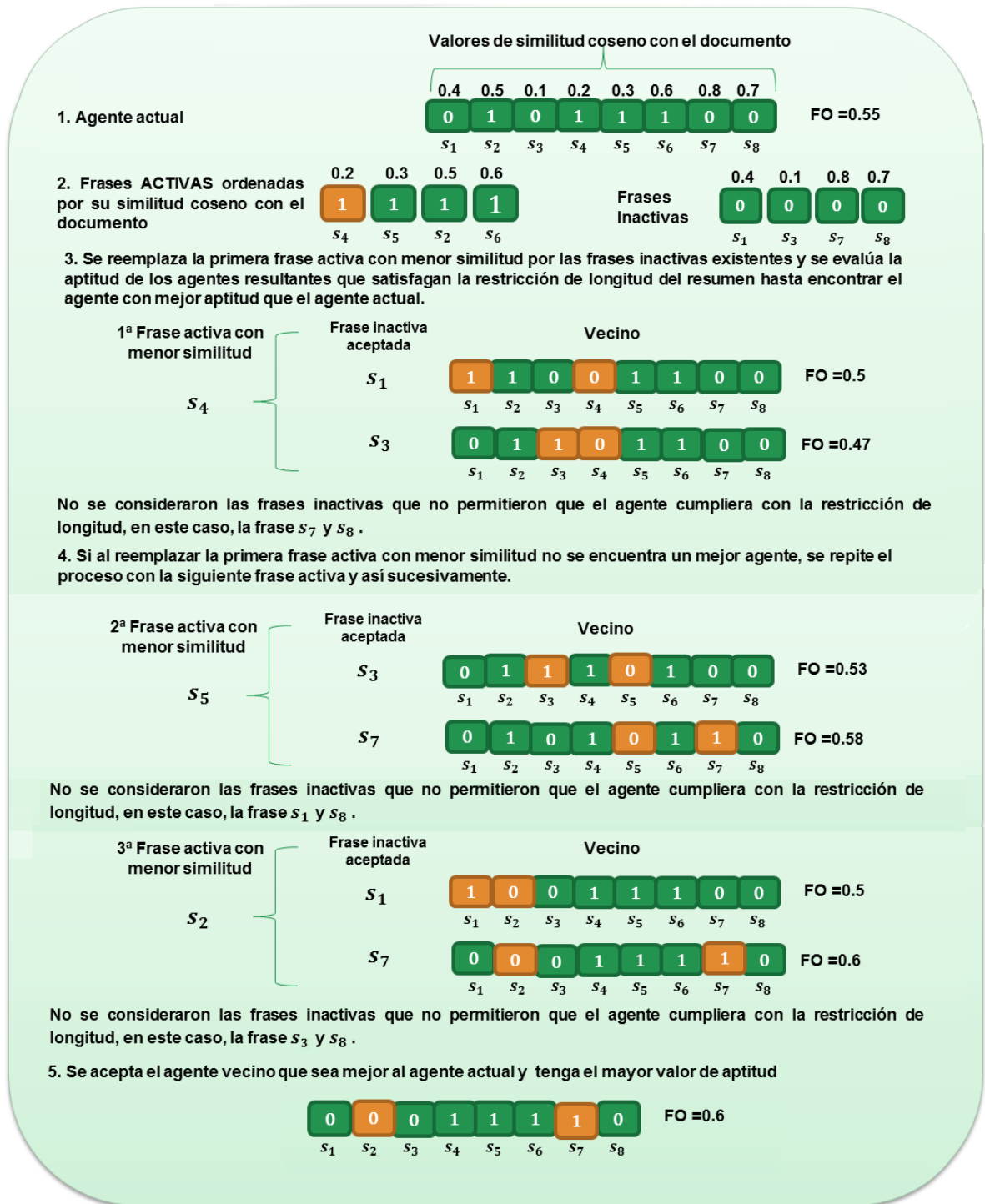


Figura 149. Esquema de funcionamiento de la Vecindad 3



**Figura 150.** Esquema de funcionamiento de la Vecindad 4

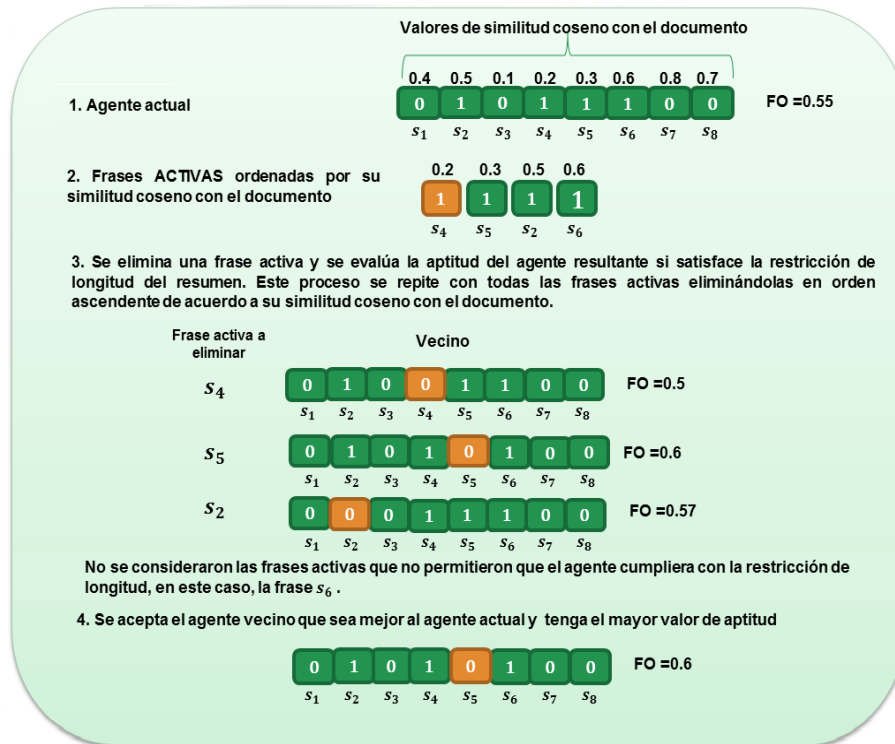


Figura 151. Esquema de funcionamiento de la Vecindad 5

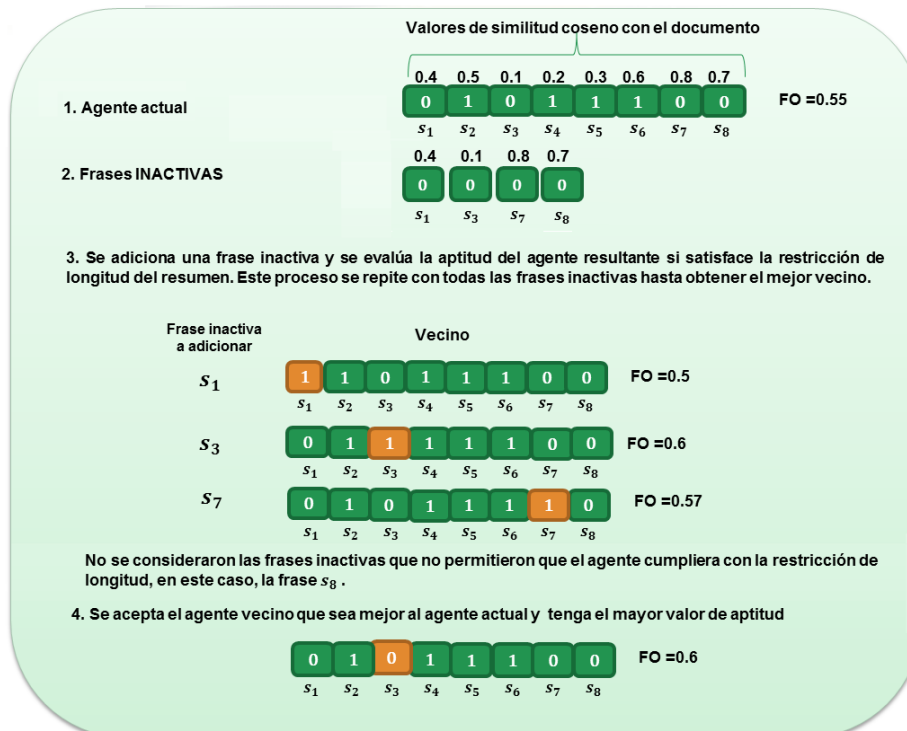
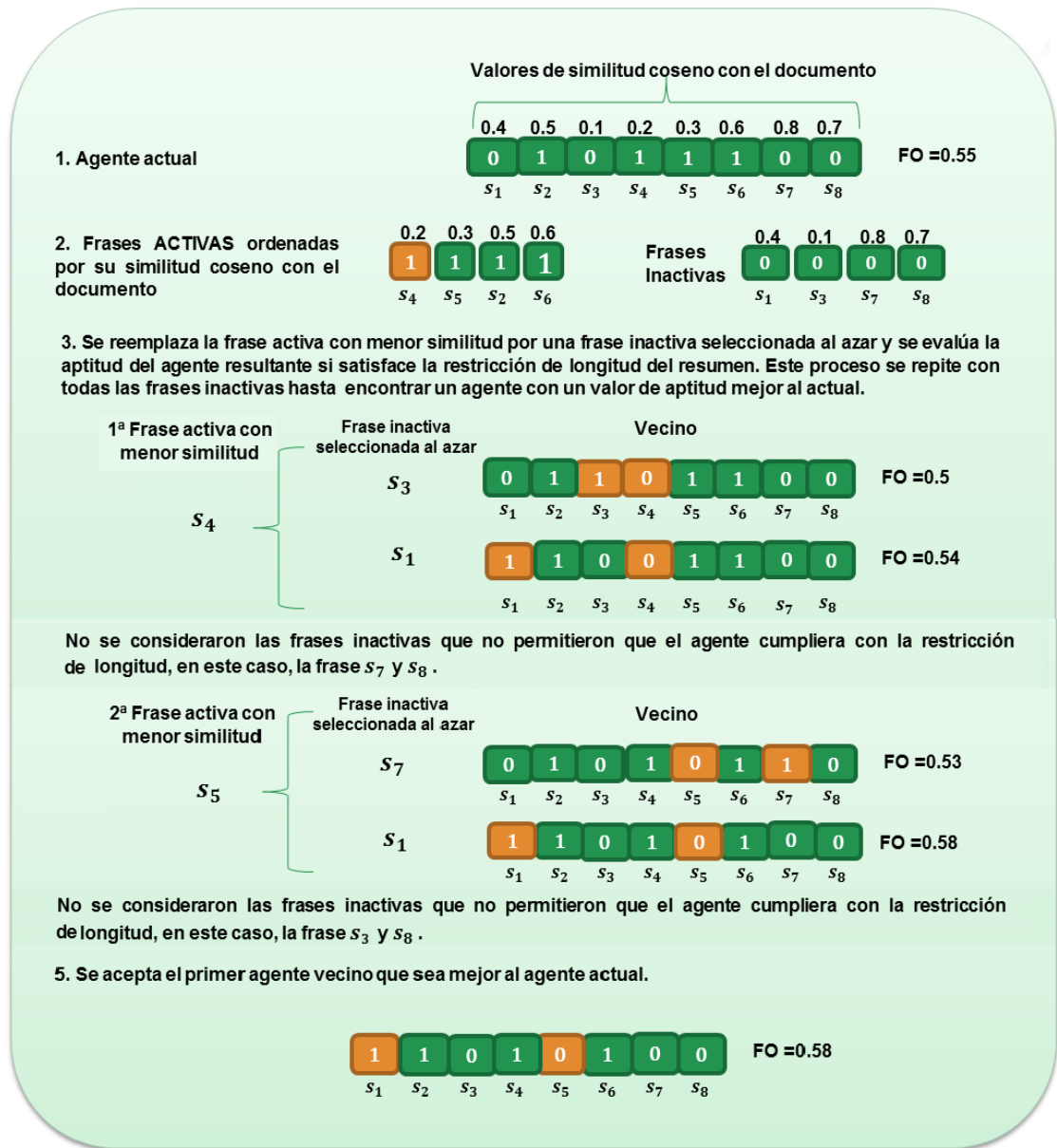
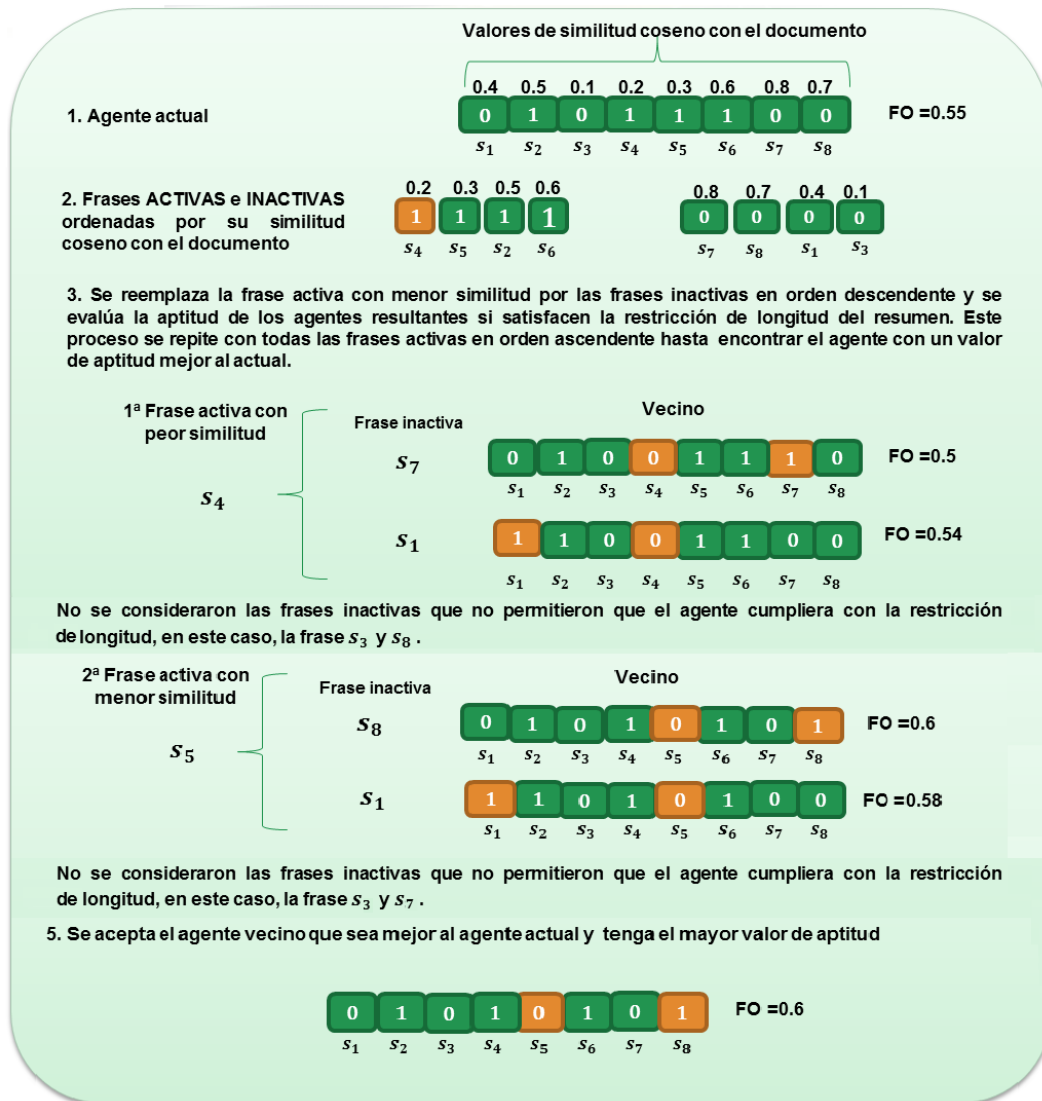


Figura 152. Esquema de funcionamiento de la Vecindad 6



**Figura 153.** Esquema de funcionamiento de la Vecindad Aleatoria





**Figura 154.** Esquema de funcionamiento de la Vecindad Completa

### 3.1 PRIMER GRUPO: Búsqueda Local por Entornos Variables Descendente

El primer grupo de experimentos de esta etapa busca evaluar el comportamiento de la *Búsqueda Local por Entornos Variables Descendente*. De este modo, este grupo se divide a su vez en dos subgrupos, donde cada uno examina una estrategia de implementación diferente. El primero estudia un enfoque basado en la definición pura de la VND [36], de tal manera que se genera una vecindad y de ella se selecciona el mejor vecino para que sea evaluado (*VND1*) (Ver Figura 155). Por su parte, la adaptación estudiada en el segundo subgrupo busca un mayor acoplamiento con las características poblacionales de la implementación del algoritmo memético propuesto, generando sólo un vecino, por medio de un movimiento exhaustivo, para que sea evaluado (*VND2*) (Ver Figura 156).

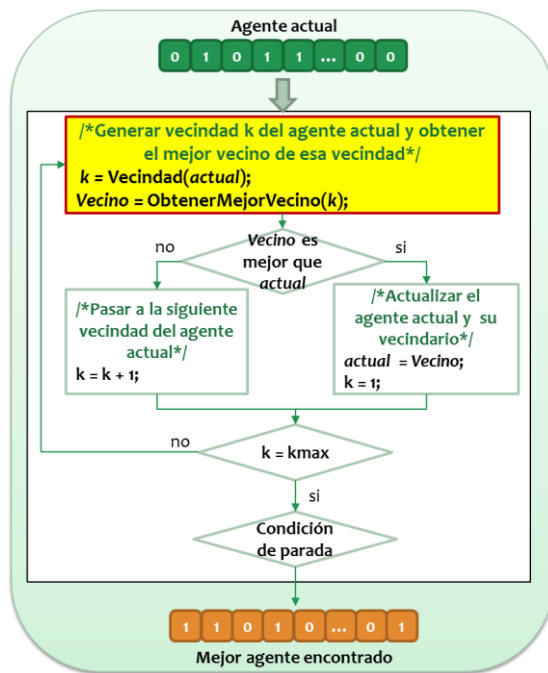


Figura 155. Esquema VND1

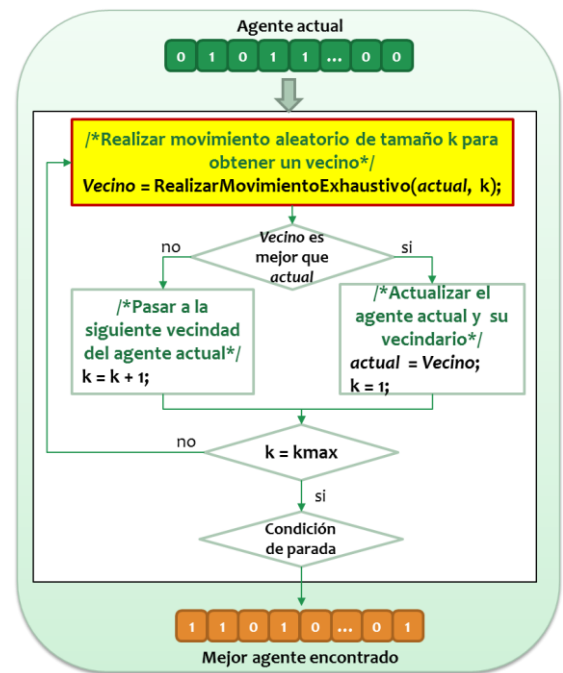


Figura 156. Esquema VND2

### 3.1.1 PRIMER SUBGRUPO: Implementación VND1

Con este primer subgrupo de experimentos se busca evaluar el comportamiento de la implementación *VND1*, considerando una o dos estructuras de entorno o vecindad y siete formas distintas de generar los vecinos de un agente. En ese sentido, este subgrupo se divide en dos bloques de experimentos; el primero considera una sola vecindad, generando los vecinos de siete formas distintas, mientras que el segundo utiliza dos vecindades y cinco formas de generar los vecinos. Las diferentes formas de generar la vecindad de un agente son descritas en la Tabla 45.

Para el último tipo de vecindad descrito en la Tabla 45 (*VCompleta*) se analizaron todos los vecinos que era posible obtener, mientras que en los demás tipos de vecindad se utilizó un tamaño de vecindad máximo de 5 vecinos. Este valor es relativamente pequeño debido a que los documentos manejados son cortos, por lo tanto no se cuenta con una cantidad grande de frases inactivas que al seleccionarlas para que sean incluidas en el agente actual, logren que éste cumpla con las restricciones de longitud.

Por otro lado, los tipos de vecindad *V5* y *V6* solamente se evalúan en el primer bloque de experimentos, pues el enfoque utilizado en ellos determina que una vez encontrada la mejor solución en la primera estructura de entorno, no es posible generar un vecino de tal solución que satisfaga las restricciones de longitud del resumen.

#### 3.1.1.1 PRIMER BLOQUE: Una Vecindad (k=1)

En la Tabla 46 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 157, 158 y 159 se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Vecindad	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
5	V1	0,441729	0,443189	0,442364	0,189987	0,190734	0,190323	0,211062	0,211891	0,211431
6	V2	0,443168	0,444441	0,443712	0,191713	0,192400	0,192019	0,212674	<b>0,213436</b>	0,213011
7	V3	0,442984	0,444199	0,443494	<b>0,192080</b>	<b>0,192713</b>	<b>0,192357</b>	0,212689	0,213387	0,212992
8	V4	<b>0,444056</b>	<b>0,445197</b>	<b>0,444527</b>	0,191848	0,192481	0,192125	<b>0,212737</b>	0,213411	<b>0,213027</b>
9	V5	0,439808	0,441503	0,440533	0,189694	0,190476	0,190040	0,209904	0,210829	0,210311
10	V6	0,442845	0,444128	0,443388	0,189819	0,190552	0,190147	0,211122	0,211917	0,211474
11	VCompleta	0,438818	0,440466	0,439534	0,186139	0,186911	0,186483	0,207698	0,208570	0,208084

Tabla 46. Resultados de los experimentos de VND1 con k = 1

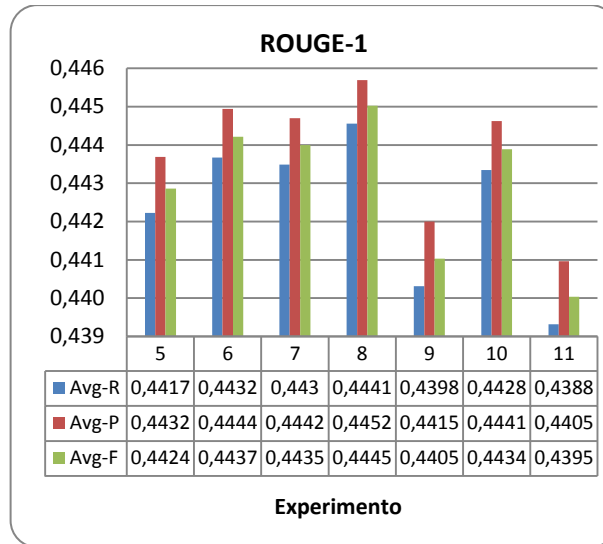


Figura 157. VND1 con k = 1, ROUGE-1

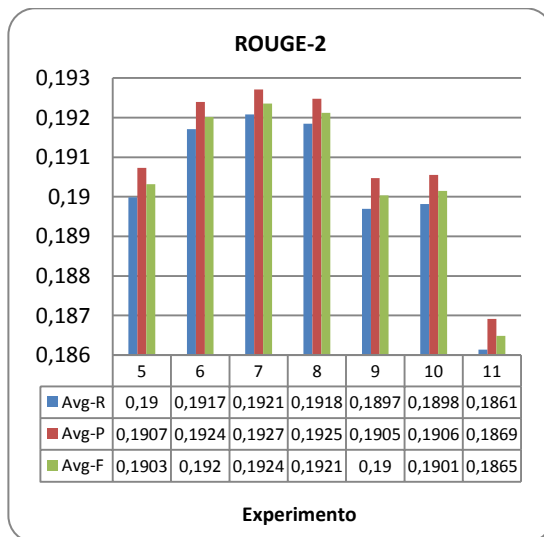


Figura 158. VND1 con k = 1, ROUGE-2

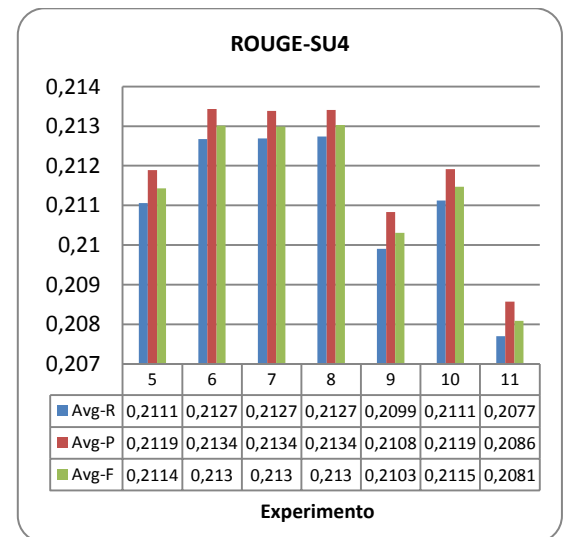


Figura 159. VND1 con k = 1, ROUGE-SU4

### 3.1.1.2 SEGUNDO BLOQUE: Dos Vecindades ( $k = 2$ )

En la Tabla 47 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 160, 161 y 162 se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Vecindad	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
12	V1	0,440152	0,441758	0,440850	0,189275	0,190081	0,189637	0,209838	0,210738	0,210238
13	V2	0,441202	0,442695	0,441850	0,189766	0,190515	0,190101	0,210623	0,211467	0,210998
14	V3	0,441694	0,443077	0,442283	<b>0,190210</b>	<b>0,190901</b>	<b>0,190515</b>	<b>0,210957</b>	<b>0,211735</b>	<b>0,211297</b>
15	V4	<b>0,442004</b>	<b>0,443450</b>	<b>0,442622</b>	0,189815	0,190558	0,190145	0,210689	0,211502	0,211046
16	VCompleta	0,431126	0,433289	0,432092	0,178026	0,179008	0,178474	0,200475	0,201623	0,200996

Tabla 47. Resultados de los experimentos de VND1 con  $k = 2$

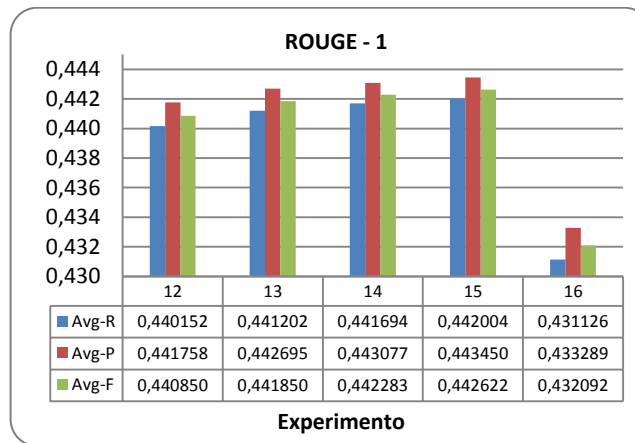


Figura 160. VND1 con  $k = 2$ , ROUGE-1

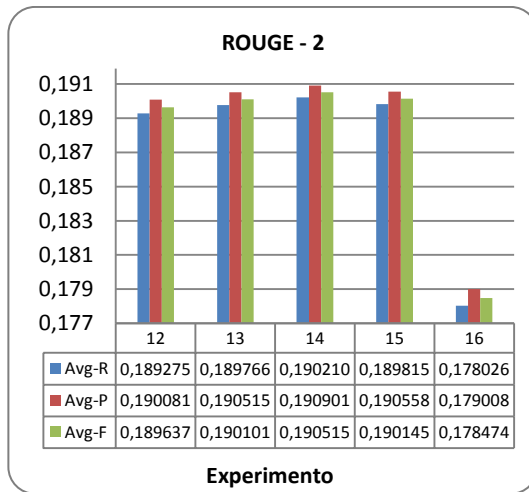


Figura 161. VND1 con  $k = 2$ , ROUGE-2

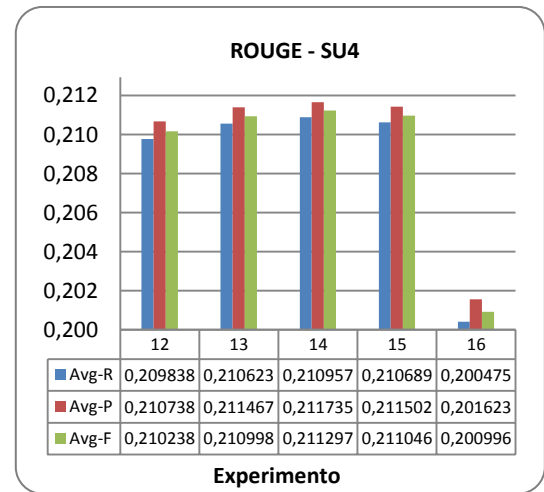


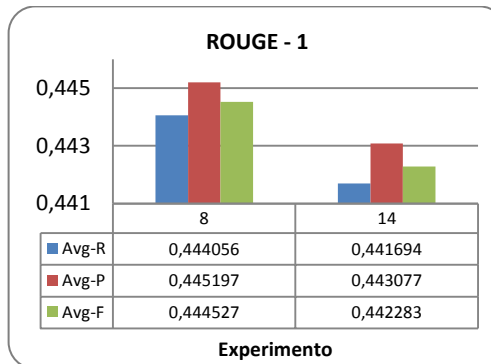
Figura 162. VND1 con  $k = 2$ , ROUGE-2

### 3.1.1.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

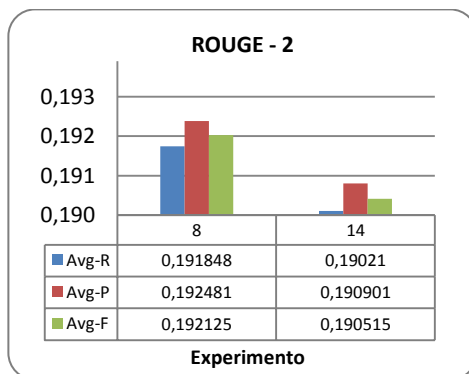
De acuerdo a los resultados presentados, en el primer bloque los experimentos más destacados son el 6, 7 y 8, sin embargo, a pesar de que el experimento 7 es el más sobresaliente en la medida de R2, en R1 y RSU4 es superado por el experimento 8, el cual sobrepasa también al experimento 6 en R1, R2 y en las medidas de precisión y medida-F de RSU4. De esta forma, el experimento con mejor desempeño del primer bloque es el experimento 8. Por su parte, en el segundo bloque los cuatro primeros experimentos presentan un comportamiento muy similar, no obstante, aunque el 15 sobresale en R1, el 14 se destaca sobre los demás en las medidas de R2 y RSU4. De tal modo, que para el segundo bloque el experimento con mejor comportamiento es el 14. En la Tabla 48 se recopiló la información de estos experimentos, para realizar un análisis comparativo y definir el mejor experimento de este subgrupo. En las Figuras 163, 164 y 165 se muestra dicha información gráficamente.

Exp.	Vecindad	k	R1R			R2R			RSU4		
			Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
8	V4	1	0,444056	0,445197	0,444527	0,191848	0,192481	0,192125	0,212737	0,213411	0,213027
14	V3	2	0,441694	0,443077	0,442283	0,190210	0,190901	0,190515	0,210957	0,211735	0,211297

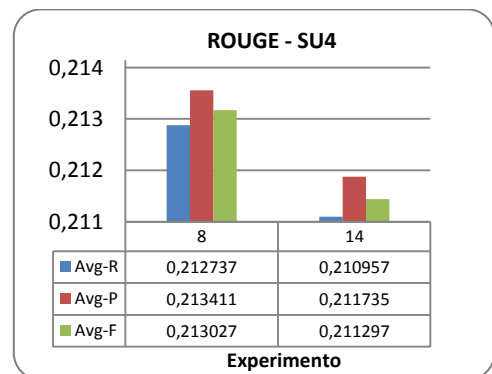
**Tabla 48.** Resultados de los mejores experimentos de VND1



**Figura 163.** Mejores experimentos de VND1, ROUGE-1



**Figura 164.** Mejores experimentos de VND1, ROUGE-2



**Figura 165.** Mejores experimentos de VND1, ROUGE-SU4

Según el análisis realizado, el mejor experimento de este subgrupo es el 8, el cual utiliza una sola estructura de entorno ( $k = 1$ ) y la estrategia de generación de vecindad V4.

### 3.1.2 SEGUNDO SUBGRUPO: Implementación VND2

Este segundo subgrupo está orientado a la evaluación del desempeño de una segunda implementación de la VND. De esta forma, este subgrupo está conformado por cuatro experimentos, donde cada uno evalúa la adaptación VND2 con diferente cantidad  $k$  de vecindades. En la Tabla 49 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 166, 167 y 168 son mostrados gráficamente.

Exp.	k	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
17	1	0,448523	0,449479	0,448904	0,198644	0,199208	0,198887	0,218115	0,218731	0,218377
18	2	0,449296	0,450822	0,449954	0,196923	0,197706	0,197271	0,217296	0,218179	0,217687
19	3	0,451126	0,452781	0,451852	0,199131	0,199947	0,199498	0,219252	0,220171	0,219663
20	4	0,452223	0,453844	0,452934	0,199772	0,200554	0,200123	0,219822	0,220711	0,220219

Tabla 49. Resultados de los experimentos de VND2

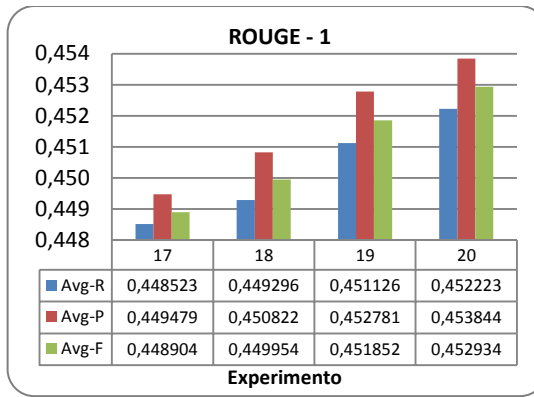


Figura 166. VND2, ROUGE-1

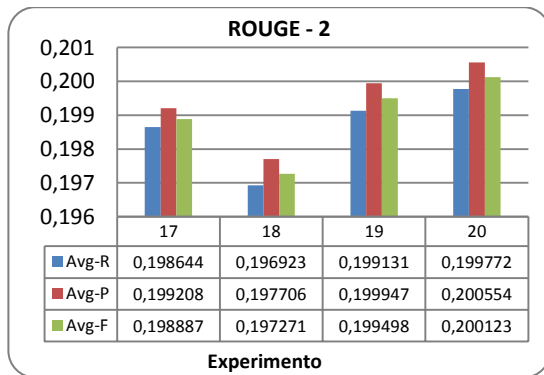


Figura 167. VND2, ROUGE-2

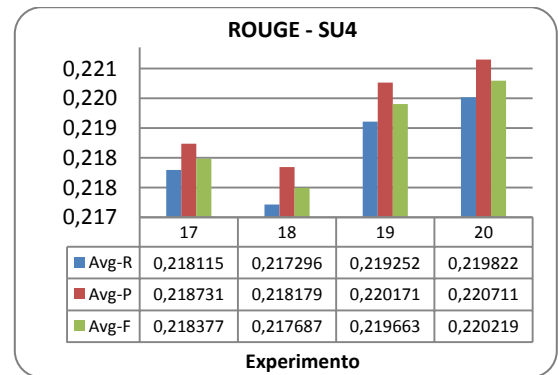


Figura 168. VND2, ROUGE-SU4

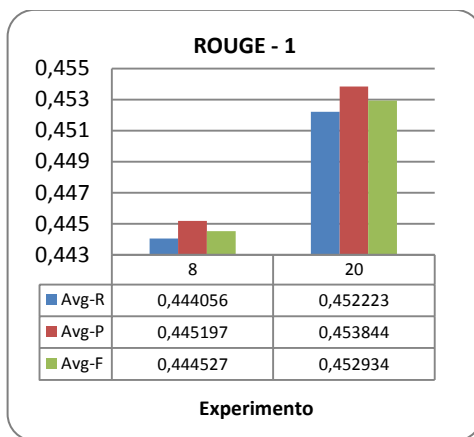
Al revisar estos resultados, se observa que la implementación VND2 propuesta, presenta el desempeño más alto con 4 estructuras de entorno ( $k = 4$ ). De tal forma, el mejor experimento de este subgrupo es el 20.

### 3.1.3 ANALISIS DE RESULTADOS

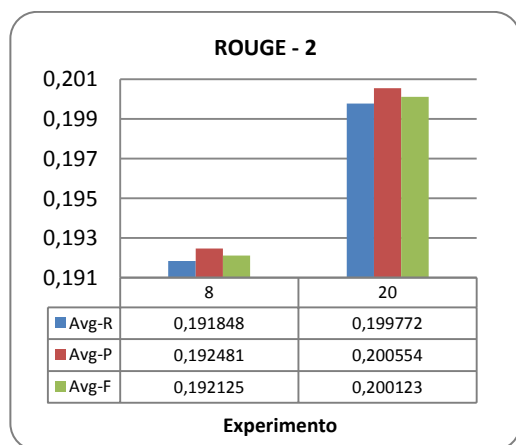
Para determinar el mejor experimento obtenido en la evaluación de la VND, se recopilaron los resultados de los dos subgrupos estudiados. En la Tabla 50 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 169, 170 y 171 se muestran gráficamente.

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>8</b>	0,444056	0,445197	0,444527	0,191848	0,192481	0,192125	0,212737	0,213411	0,213027
<b>20</b>	<b>0,452223</b>	<b>0,453844</b>	<b>0,452934</b>	<b>0,199772</b>	<b>0,200554</b>	<b>0,200123</b>	<b>0,219822</b>	<b>0,220711</b>	<b>0,220219</b>

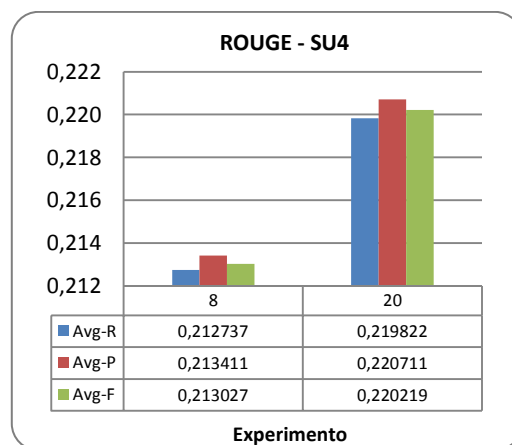
**Tabla 50.** Resultados de los mejores experimentos de VND



**Figura 169.** Mejores experimentos de VND, ROUGE-1



**Figura 170.** Mejores experimentos de VND, ROUGE-2



**Figura 171.** Mejores experimentos de VND, ROUGE-SU4

De acuerdo a estos datos, evidentemente el mejor comportamiento de la VND es presentado por el experimento 20, el cual evalúa la adaptación VND2.

### 3.2 SEGUNDO GRUPO: Búsqueda Local por Entornos Variables Reducida

Este segundo grupo de experimentos se enfoca en la evaluación del desempeño de la técnica de *Búsqueda Local por Entornos Variables Reducida*. De esta manera, este grupo se divide a su vez en dos subgrupos, donde cada uno examina una estrategia de implementación diferente. El primero estudia un enfoque basado en la definición pura de la RVNS [36], [36], donde se genera una vecindad y de ella se selecciona aleatoriamente un vecino para que sea evaluado (RVNS1) (Ver Figura 172). Con esta estrategia se persigue tener una mayor capacidad de exploración o diversificación en la búsqueda. En el segundo subgrupo, buscando una mejor adaptación con las características de implementación del algoritmo memético propuesto, generando sólo un vecino, por medio de un movimiento aleatorio, para que sea evaluado (RVNS2) (Ver Figura 173).

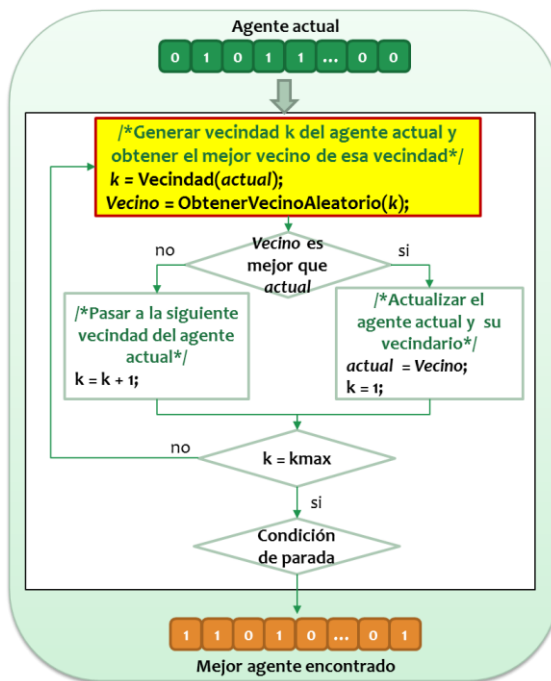


Figura 172. Esquema RVNS1

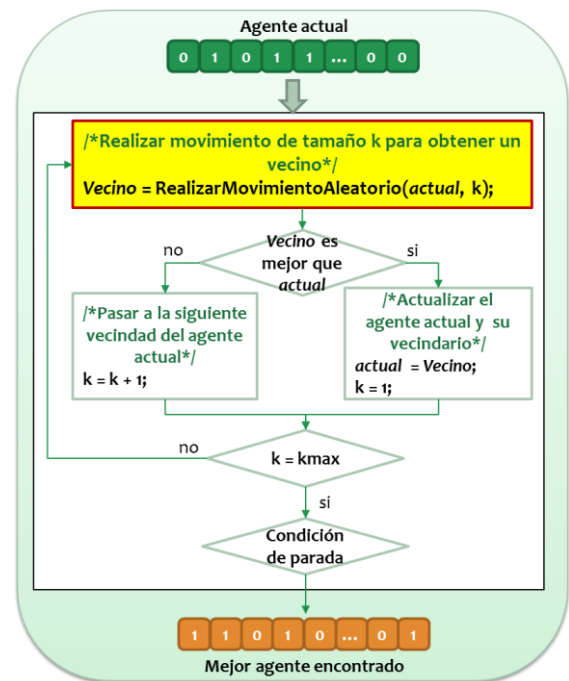


Figura 173. Esquema RVNS2

#### 3.2.1 PRIMER SUBGRUPO: Implementación RVNS1

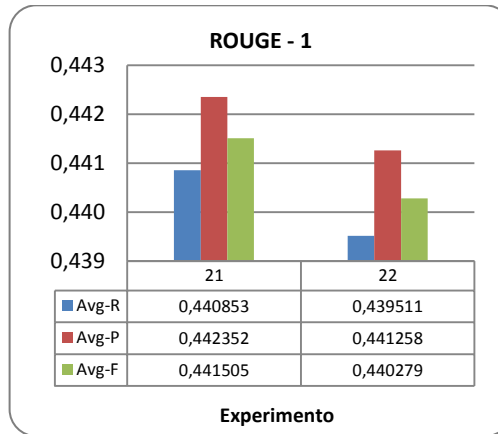
El primer subgrupo de experimentos de RVNS utiliza una estrategia de generación de vecindades basada en la aleatoriedad, de esta forma, partiendo de un agente, se genera un vecino en el cual se sustituye una frase con bajo valor de similitud al documento por una frase seleccionada al azar que satisfaga las condiciones de longitud del problema abordado. Así pues, este subgrupo está formado por dos experimentos donde cada uno evalúa la estrategia mencionada, con una y dos estructuras de entorno, respectivamente, utilizando el tipo de vecindad *VAleatoria* descrita en la Tabla 45.



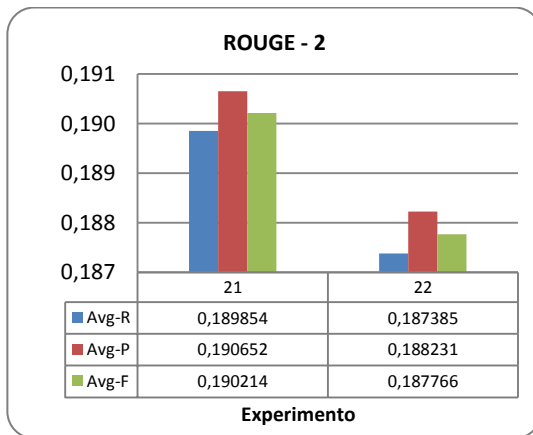
En la Tabla 51 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 174, 175 y 176 se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	k	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
21	1	0,440853	0,442352	0,441505	0,189854	0,190652	0,190214	0,211039	0,211910	0,211428
22	2	0,439511	0,441258	0,440279	0,187385	0,188231	0,187766	0,208992	0,209952	0,209422

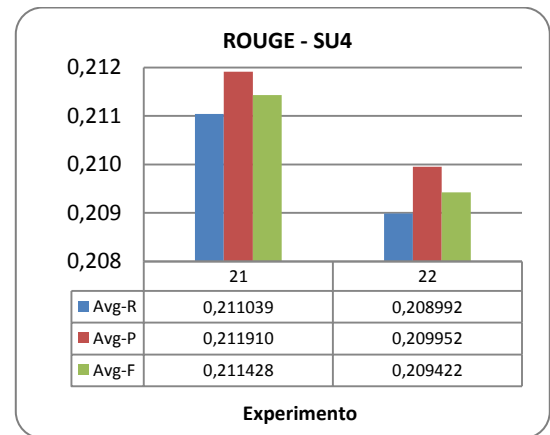
**Tabla 51.** Resultados de los experimentos de RVNS1



**Figura 174.** RVNS1, ROUGE-1



**Figura 175.** RVNS1, ROUGE-2



**Figura 176.** RVNS1, ROUGE-SU4

Al revisar estos resultados, se observa que el mejor comportamiento de este subgrupo es presentado por el experimento 21, el cual evalúa la implementación propuesta *RVNS1* con una estructura de entorno o vecindad ( $k = 1$ ).

### 3.2.2 SEGUNDO SUBGRUPO: Implementación RVNS2

Este segundo subgrupo está orientado a la evaluación del desempeño de una segunda implementación de la RVNS. Así, este subgrupo está conformado por seis experimentos, donde cada uno evalúa la adaptación RVNS2 con diferente cantidad k de vecindades. En la Tabla 52 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 177, 178 y 179 son mostrados gráficamente.

Exp.	k	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
23	1	0,445817	0,447816	0,446721	0,193644	0,194621	0,194094	0,214882	0,215981	0,215387
24	2	0,445452	0,447297	0,446278	0,193490	0,194390	0,193901	0,214704	0,215721	0,215167
25	3	0,446123	0,448031	0,446980	0,193906	0,194895	0,194362	0,214886	0,215963	0,215379
26	4	<b>0,446887</b>	<b>0,448551</b>	<b>0,447625</b>	<b>0,194677</b>	<b>0,195534</b>	<b>0,195067</b>	<b>0,215768</b>	<b>0,216728</b>	<b>0,216203</b>

Tabla 52. Resultados de los experimentos de RVNS2

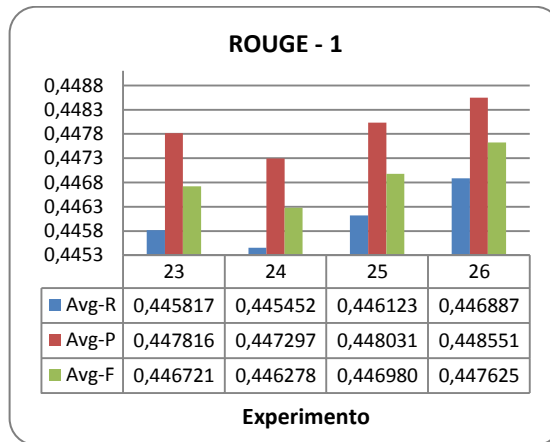


Figura 177. RVNS2, ROUGE-1

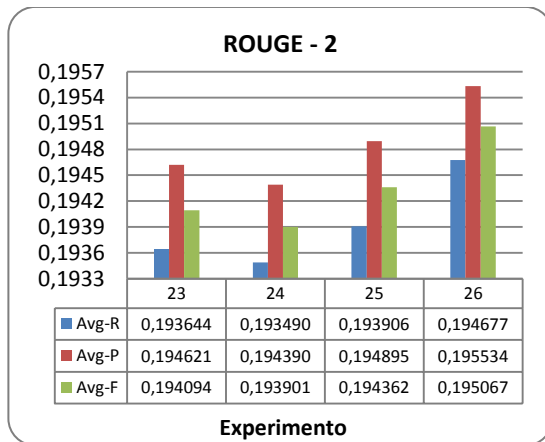


Figura 178. RVNS2, ROUGE-2

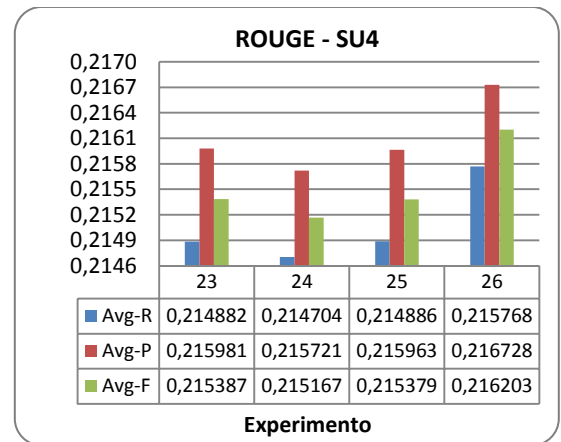


Figura 179. RVNS2, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, se observa que la adaptación *RVNS2* propuesta presenta el mejor desempeño con 4 estructuras de entorno ( $k = 4$ ). De este modo, el mejor experimento de este subgrupo es el 26.

### 3.2.3 ANALISIS DE RESULTADOS

Para determinar el mejor experimento obtenido en la evaluación de la *RVNS*, se recopilaron los resultados de los dos subgrupos estudiados. En la Tabla 53 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 180, 181 y 182 se muestran gráficamente.

Exp.	k	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
21	1	0,440853	0,442352	0,441505	0,189854	0,190652	0,190214	0,211039	0,211910	0,211428
26	4	<b>0,446887</b>	<b>0,448551</b>	<b>0,447625</b>	<b>0,194677</b>	<b>0,195534</b>	<b>0,195067</b>	<b>0,215768</b>	<b>0,216728</b>	<b>0,216203</b>

Tabla 53. Resultados de los mejores experimentos de *RVNS*

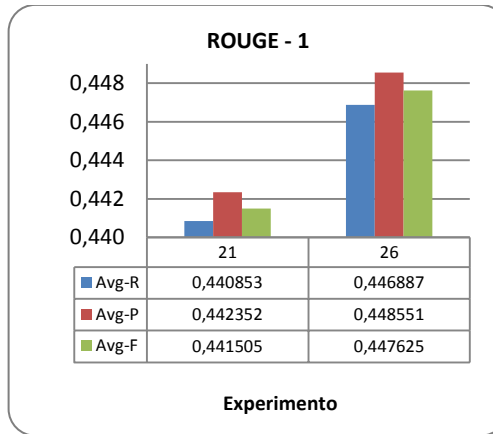


Figura 180. Mejores experimentos de *RVNS*, ROUGE-1

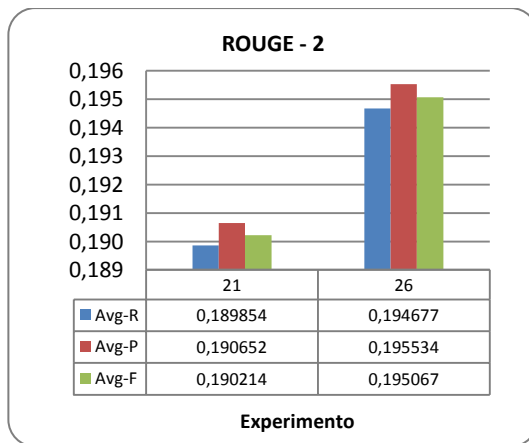


Figura 181. Mejores experimentos de *RVNS*, ROUGE-2

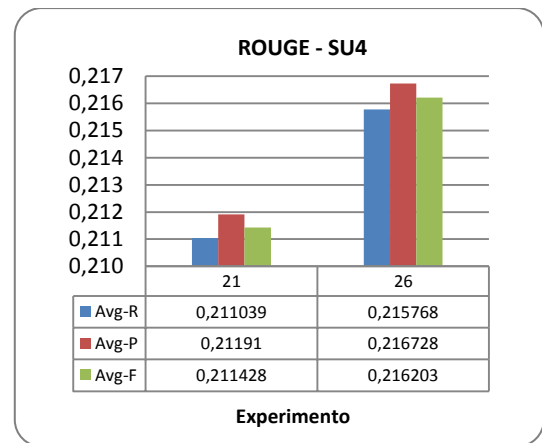


Figura 182. Mejores experimentos de *RVNS*, ROUGE-SU4

De acuerdo a estos datos, se aprecia que el mejor comportamiento de la RVNS es presentado por el experimento 26, el cual evalúa la adaptación RVNS2 con cuatro estructuras de entorno ( $k = 4$ ).

### 3.3 TERCER GRUPO: Búsqueda Local por Entornos Variables Básica

Este tercer grupo está formado por dos experimentos, los cuales evalúan una implementación de la BVNS basada en su definición pura [36], en la cual se busca aleatoriamente una mejor solución que la actual y se optimiza aplicando una búsqueda local básica. Al igual que en las búsquedas locales anteriores al encontrar una mejor solución, ésta se toma como la nueva solución actual y se repite el procedimiento iniciando en la primer estructura de entorno. Cada experimento evalúa la adaptación propuesta con una y dos estructuras de entorno, respectivamente. En la Tabla 54 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 183, 184 y 185 son mostrados gráficamente.

Exp.	k	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
27	1	0,440251	0,441608	0,440828	0,189189	0,189879	0,189494	0,210380	0,211153	0,210718
28	2	0,439029	0,440528	0,439670	0,186891	0,187686	0,187246	0,208447	0,209323	0,208834

Tabla 54. Resultados de los experimentos de BVNS

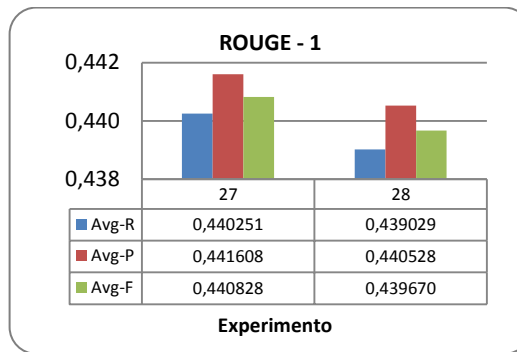


Figura 183. BVNS, ROUGE-1

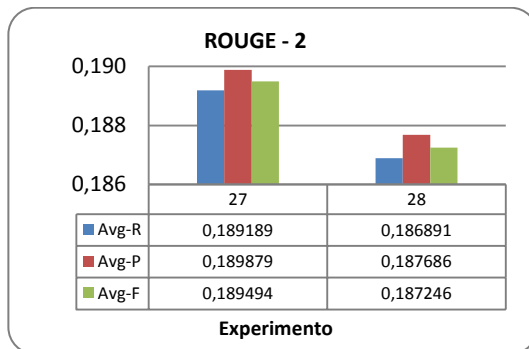


Figura 184. BVNS, ROUGE-2

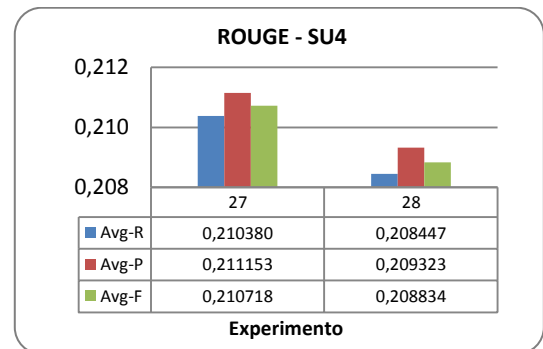


Figura 185. BVNS, ROUGE-SU4

De acuerdo a estos resultados, claramente el mejor desempeño del tercer grupo es mostrado por el experimento 27, el cual evalúa la implementación BVNS propuesta, con una sola estructura de entorno ( $k = 1$ ). Sin embargo, el desempeño de esta técnica es muy bajo comparado con las dos VNS anteriores. Este comportamiento puede ocasionarse debido a que entre los elementos de dicha técnica está el uso de un método interno de búsqueda local básica. De esta forma, ya que el algoritmo memético propuesto busca siempre dirigir la búsqueda hacia las soluciones más aptas, la exploración de vecindades se realiza a través de un proceso muy cercano al mecanismo de las técnicas de búsqueda local básica, por lo que adicionar un método que redunde en el mismo procesamiento puede conducir a la disminución del desempeño del algoritmo. De otro lado, si se intenta adaptar esta técnica a las características de implementación del algoritmo memético planteado, resultaría en una adaptación muy similar a la RVNS2.

#### **4 TERCERA ETAPA: BÚSQUEDA LOCAL GUIADA**

El propósito de la tercera etapa de este proceso es evaluar el comportamiento de la *Búsqueda Local Guiada*. De esta forma, esta etapa se divide en tres grupos, donde el primero está dirigido a establecer la implementación de la GLS que mejor se ajuste al problema abordado. Por otro lado, teniendo en cuenta que dicho esquema requiere la definición de ciertos parámetros para su funcionamiento, los otros dos grupos de experimentos están orientados, uno al establecimiento del *costo de las características* definidas para la búsqueda y el otro a la afinación del *parámetro de regularización*  $\lambda$ , inmerso en el cálculo de la *función objetivo disminuida*. Así mismo, es importante mencionar que las *características* requeridas dentro del esquema de la GLS, fueron representadas dentro de esta investigación por cada una de las frases que forman un documento, en ese sentido, si un documento está compuesto por  $n$  frases, entonces el algoritmo contará con  $n$  características, donde a la  $i$ -ésima característica le corresponderá un costo  $c_i$ . De esta manera, a lo largo de esta sección, los términos “*característica*” y “*frase*” serán utilizados indistintamente. Teniendo en cuenta que las características y sus costos deben permanecer constantes durante toda la ejecución de la búsqueda, los cálculos de costos presentados a lo largo de esta sección están basados en factores de evaluación de resúmenes que pueden ser calculados por frase sin importar si ésta pertenece o no a un resumen, como por ejemplo la posición y la longitud que, entre otros, son elementos cuyo valor puede ser calculado para una frase independiente de las demás.

En la Tabla 55 se presentan las fórmulas matemáticas utilizadas en diferentes cálculos de costos, entre ellas, la única que no está basada en ningún factor de evaluación de resúmenes y que no había sido expuesta a lo largo del presente trabajo es la de *Longitud*<sup>13</sup>, la cual simplemente toma la longitud de una frase y la ajusta por medio de la función sigmoidea para que sus valores estén entre 0 y 1.

De otra parte, cabe señalar que, en esta etapa, el esquema que mejor se desempeñe en un grupo constituirá el punto de partida para las experimentaciones del siguiente grupo.

---

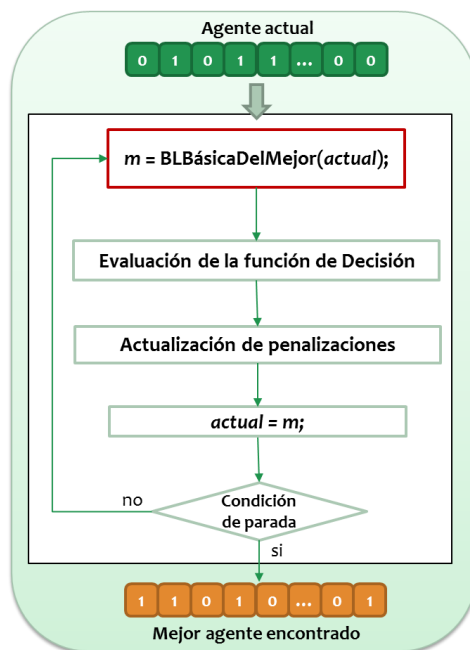
<sup>13</sup> Esta fórmula sólo es usada para efecto del cálculo de costos de características en la GLS.

Factor	Fórmula
$Posición_i$	$\sqrt[2]{\frac{1}{n_i}}$
$Cobertura\ WSS_i$	$0.1 + \frac{\sum_{j=1}^k w_j}{\sum_{j=1}^k \max w_j}$
$Relacion\ con\ el\ título_i$	$\frac{sim(s_i, t)}{L * \text{máximo}_{\forall\ resumen} TR}$
$Similitud\ Con\ Documento_i$	$sim(\overline{D}, \overline{s}_i)$
$Longitud_i$	$\frac{1 - e^{-l(s_i)}}{1 + e^{-l(s_i)}}$

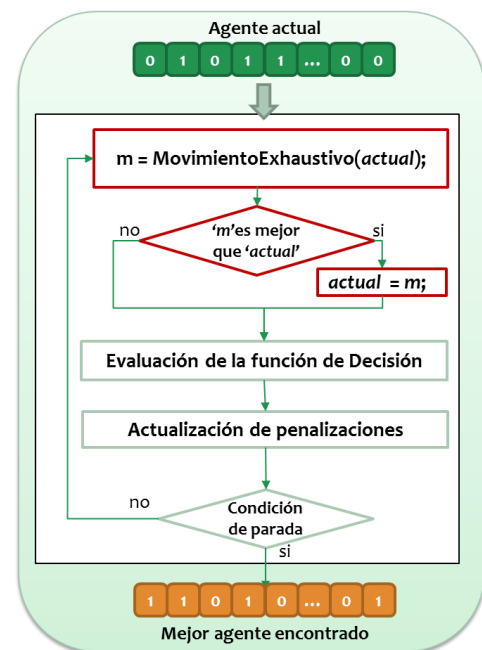
**Tabla 55.** Fórmulas de factores para los cálculos de costo de características GLS

#### 4.1 PRIMER GRUPO: Establecimiento del esquema de la GLS

Con este primer grupo de experimentos se pretende llegar a la implementación de la GLS que mejor se ajuste al problema abordado. En ese sentido, se establecen dos experimentos, el primero, evalúa un esquema basado en el enfoque de *Voudouris y Tsang* [39, 40], aplicando la definición pura de la GLS y utilizando como búsqueda local interna la *Búsqueda Básica del Mejor (GLS1)* (Ver Figura 186). El segundo experimento, por su parte, examina una implementación que busca un mayor acoplamiento con las propiedades poblacionales del algoritmo memético propuesto, de esa forma, se fundamenta en una búsqueda local básica para, entonces, incorporar atributos propios de la GLS (*GLS2*) (Ver Figura 187).



**Figura 186.** Esquema GLS1



**Figura 187.** Esquema GLS2

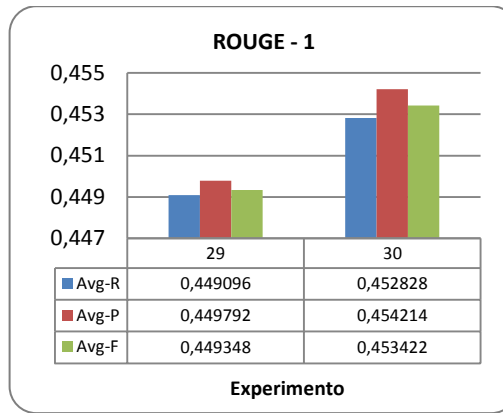
Es importante resaltar que en los experimentos de este grupo se establece el *parámetro de regularización*  $\lambda$  igual a 1, mientras que el *costo de las características* es determinado como se ve en la Ecuación (8).

$$C_i = \text{Posición}_i - \text{Cobertura WSS}_i \quad (8)$$

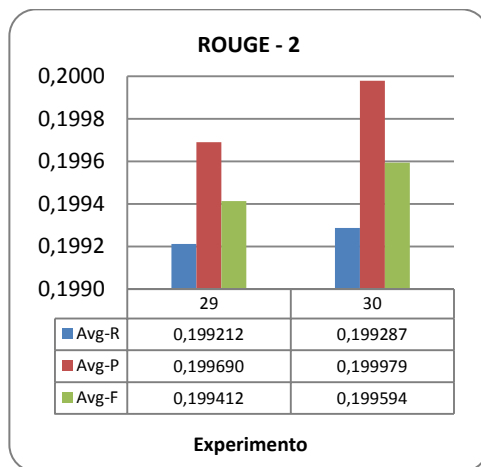
En la Tabla 56 se muestran los resultados de estos experimentos y en las Figuras 188, 189 y 190 se presentan gráficamente estos datos.

Exp.	Técnica GLS	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
29	GLS 1	0,449096	0,449792	0,449348	0,199212	0,199690	0,199412	0,218415	0,218924	0,218624
30	GLS 2	<b>0,452828</b>	<b>0,454214</b>	<b>0,453422</b>	<b>0,199287</b>	<b>0,199979</b>	<b>0,199594</b>	<b>0,219610</b>	<b>0,220397</b>	<b>0,219957</b>

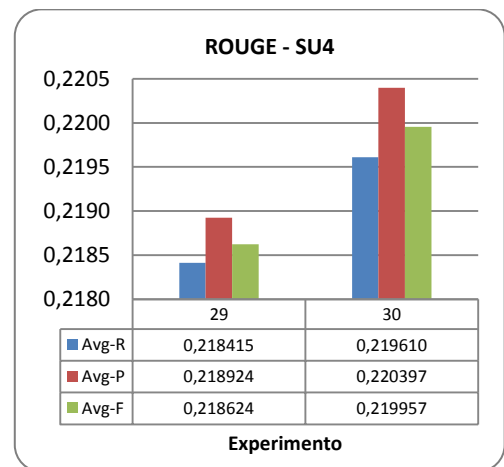
**Tabla 56.** Resultados del primer grupo de experimentos de GLS



**Figura 188.** Primer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-1



**Figura 189.** Primer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-2



**Figura 190.** Primer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-SU4

Al revisar los resultados presentados, es evidente que el mejor desempeño lo muestra la implementación contemplada en el experimento 30. Este comportamiento, advierte que para aprovechar los mecanismos de exploración expuestos por la técnica de GLS, es importante considerar las propiedades particulares del algoritmo propuesto, buscando un buen nivel de acoplamiento, que conduzca a las mejores soluciones para el problema que se aborda.

Con base en estos datos, el siguiente grupo de experimentos será desarrollado a partir del esquema evaluado en el experimento 30, que corresponde a la evaluación de la implementación *GLS2*.

#### 4.2 SEGUNDO GRUPO: Establecimiento del costo de las características

El objetivo de los experimentos de este segundo grupo, es determinar cuál es el cálculo más apropiado para el costo de las características definidas para la GLS, de tal forma que se consiga mejorar el desempeño de esta técnica de búsqueda. De este modo, cada experimento considera un cálculo de costo diferente, como se muestra en la Tabla 57.

Cálculo	Cálculo del costo $c_i$ de una característica $i$
<i>Cal1</i>	$Posición_i - CoberturaWSS_i$
<i>Cal2</i>	$SimilitudConDocumento_i$
<i>Cal3</i>	$Relacion\ con\ el\ título_i$
<i>Cal4</i>	$Posición_i$
<i>Cal5</i>	$-CoberturaWSS_i$
<i>Cal6</i>	$Relacion\ con\ el\ título_i + Posición_i$
<i>Cal7</i>	$Relacion\ con\ el\ título_i + Posición_i - CoberturaWSS_i$
<i>Cal8</i>	$Longitud_i$

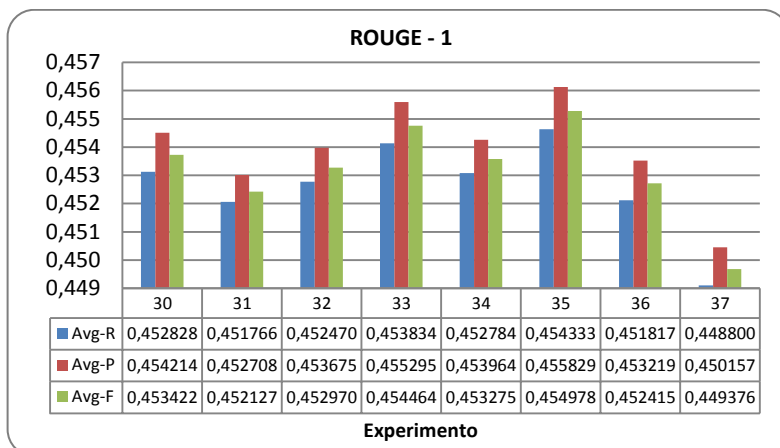
**Tabla 57.** Cálculo del Costo de una Característica en la GLS

El primer cálculo mostrado corresponde al utilizado por el mejor experimento obtenido en el grupo anterior y fue establecido con base en la función de aptitud utilizada hasta el momento por el algoritmo memético propuesto, eliminando aquellos factores cuyo cálculo depende de la correlación entre las frases que hacen parte de un resumen. Los resultados de este grupo se muestran en la Tabla 58, y en las Figuras 191, 192 y 193 se presentan gráficamente.

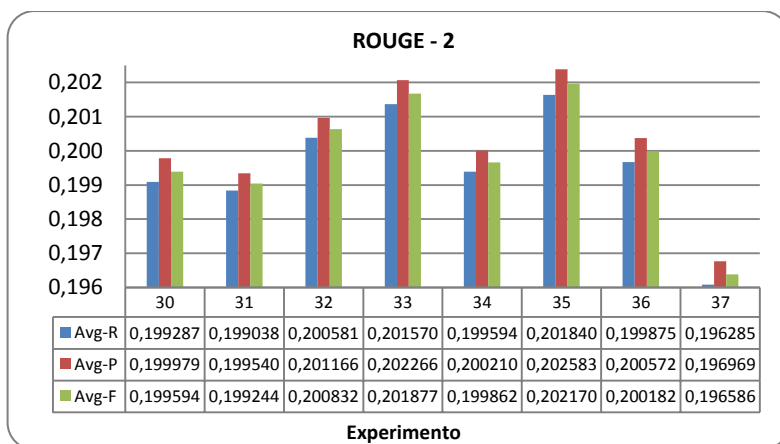
Exp.	Cálculo	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>30</b>	<i>Cal1</i>	0,452828	0,454214	0,453422	0,199287	0,199979	0,199594	0,219610	0,220397	0,219957
<b>31</b>	<i>Cal2</i>	0,451766	0,452708	0,452127	0,199038	0,199540	0,199244	0,219193	0,219747	0,219418
<b>32</b>	<i>Cal3</i>	0,452470	0,453675	0,452970	0,200581	0,201166	0,200832	0,220467	0,221146	0,220758
<b>33</b>	<i>Cal4</i>	0,453834	0,455295	0,454464	0,201570	0,202266	0,201877	0,221285	0,222076	0,221633
<b>34</b>	<i>Cal5</i>	0,452784	0,453964	0,453275	0,199594	0,200210	0,199862	0,219959	0,220655	0,220260
<b>35</b>	<i>Cal6</i>	<b>0,454333</b>	<b>0,455829</b>	<b>0,454978</b>	<b>0,201840</b>	<b>0,202583</b>	<b>0,202170</b>	<b>0,221563</b>	<b>0,222398</b>	<b>0,221932</b>
<b>36</b>	<i>Cal7</i>	0,451817	0,453219	0,452415	0,199875	0,200572	0,200182	0,219741	0,220528	0,220086
<b>37</b>	<i>Cal8</i>	0,448800	0,450157	0,449376	0,196285	0,196969	0,196586	0,216748	0,217516	0,217084

**Tabla 58.** Resultados del segundo grupo de experimentos de GLS

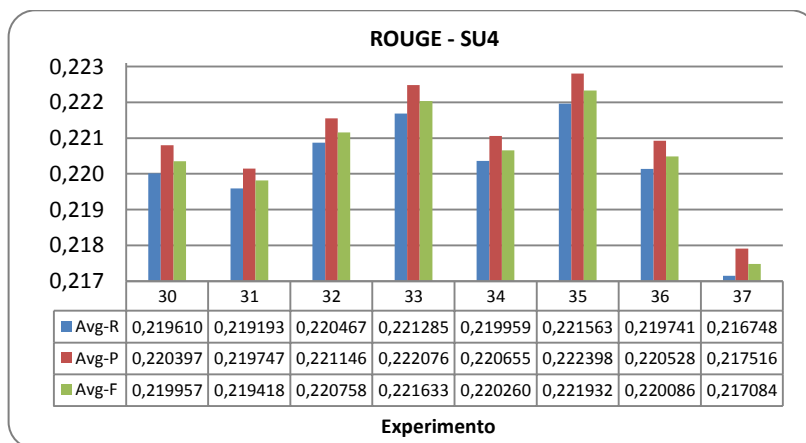




**Figura 191.** Segundo grupo de experimentos de GLS, ROUGE-1



**Figura 192.** Segundo grupo de experimentos de GLS, ROUGE-2



**Figura 193.** Segundo grupo de experimentos de GLS, ROUGE-SU4

En estos resultados, se observa inmediatamente que los experimentos que mejor desempeño presentan son aquellos cuyo costo evaluado involucra el cálculo de *Posición* y de *Relación con el Título* (Exp. 32, 33 y 35), de tal forma, que los resultados más altos en las tres medidas de ROUGE fueron presentados precisamente por la combinación de estos dos factores (Exp. 35). De esta manera, los experimentos del siguiente grupo parten del experimento 35 para ajustar el parámetro de regularización.

#### 4.3 TERCER GRUPO: Afinación del Parámetro de Regularización $\lambda$

El tercer grupo de experimentos de esta etapa está orientado a encontrar el valor más óptimo para el parámetro de regularización, requerido para el cálculo de la *función objetivo disminuida* de la GLS. De esta forma, los experimentos de este grupo consideran cada uno un cálculo o valor diferente para dicho parámetro.

Dentro de las investigaciones de la GLS, se menciona que el valor del parámetro de regularización debería ser pequeño y comparable con la variación entre los valores de la función objetivo utilizada [39]. Así entonces, en el primer experimento de este grupo (Exp. 38) se busca la aplicación de dicha premisa, estableciendo el valor de  $\lambda$  como la desviación estándar entre los valores de aptitud de los agentes de la población actual. De igual manera, existen investigaciones que abordan el problema típico del Agente Viajero, donde encontraron que la GLS era muy flexible a la elección del valor de  $\lambda$ , siempre que ese valor fuese una fracción de la longitud de la ruta del óptimo local, es decir, del valor de aptitud del óptimo local [40]. En ese sentido, un conjunto de experimentos de este grupo (Exp. 39-44) evalúa la aplicación de esa premisa al problema abordado, para el cálculo del  $\lambda$ . Finalmente, en este grupo se considera un último conjunto de experimentos (Exp. 45-47) que evalúa la asignación de valores constantes para  $\lambda$ , similar a como se ha hecho en otros estudios[46].

Las configuraciones para el parámetro  $\lambda$  evaluadas en los experimentos se presentan en la Tabla 59. La configuración  $\lambda_0$  corresponde a la utilizada en los experimentos desarrollados hasta el momento.

$\lambda$	Configuración
$\lambda_0$	1.000
$\lambda_1$	Desviación Estándar de aptitudes de la población actual
$\lambda_2$	0.175 * Aptitud del Máximo local
$\lambda_3$	0.200 * Aptitud del Máximo local
$\lambda_4$	0.250 * Aptitud del Máximo local
$\lambda_5$	0.500 * Aptitud del Máximo local
$\lambda_6$	0.700 * Aptitud del Máximo local
$\lambda_7$	1.000 * Aptitud del Máximo local
$\lambda_8$	0.100
$\lambda_9$	0.300
$\lambda_{10}$	0.500

**Tabla 59.** Configuraciones del Parámetro de Regularización

Los resultados de este grupo se presentan en la Tabla 60 y en las Figuras 194, 195 y 196 se muestran gráficamente.

Exp.	$\lambda$	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>35</b>	$\lambda_0$	0,454333	0,455829	0,454978	<b>0,201840</b>	<b>0,202583</b>	<b>0,202170</b>	0,221563	0,222398	0,221932
<b>38</b>	$\lambda_1$	0,452491	0,454072	0,453182	0,200157	0,200921	0,200498	0,219961	0,220823	0,220344
<b>39</b>	$\lambda_2$	0,451964	0,453612	0,452690	0,199152	0,199948	0,199510	0,219484	0,220392	0,219891
<b>40</b>	$\lambda_3$	0,451483	0,453065	0,452176	0,198731	0,199487	0,199069	0,219037	0,219907	0,219426
<b>41</b>	$\lambda_4$	0,451620	0,453139	0,452279	0,199632	0,200367	0,199959	0,219535	0,220375	0,219907
<b>42</b>	$\lambda_5$	0,451216	0,452782	0,451897	0,198572	0,199355	0,198923	0,218899	0,219772	0,219287
<b>43</b>	$\lambda_6$	0,452732	0,454323	0,453426	0,199924	0,200701	0,200272	0,220048	0,220927	0,220439
<b>44</b>	$\lambda_7$	0,454041	0,455583	0,454710	0,201403	0,202156	0,201738	0,221260	0,222111	0,221637
<b>45</b>	$\lambda_8$	0,451966	0,453440	0,452603	0,199678	0,200399	0,199998	0,219680	0,220495	0,220040
<b>46</b>	$\lambda_9$	0,453712	0,455391	0,454450	0,201105	0,201919	0,201471	0,221035	0,221955	0,221447
<b>47</b>	$\lambda_{10}$	<b>0,454396</b>	<b>0,455910</b>	<b>0,455050</b>	0,201804	0,202555	0,202138	<b>0,221625</b>	<b>0,222468</b>	<b>0,221997</b>

Tabla 60. Resultados del tercer grupo de experimentos de GLS

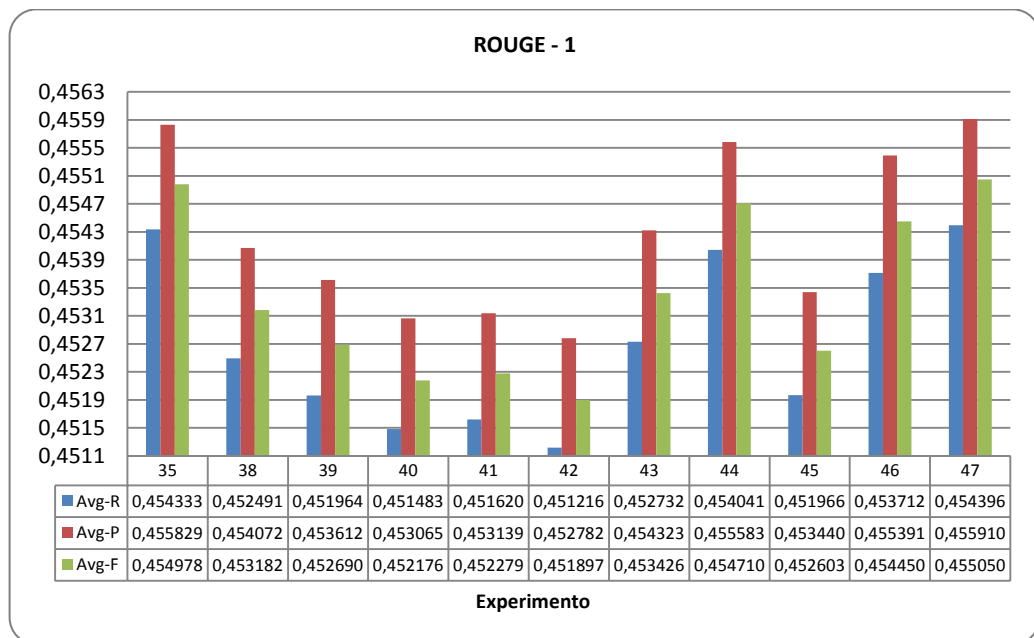
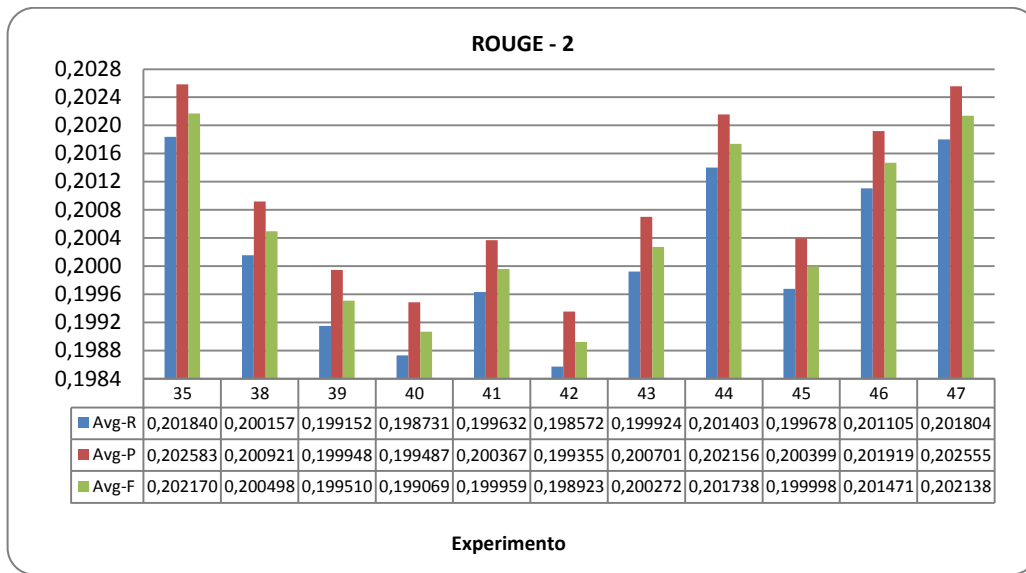
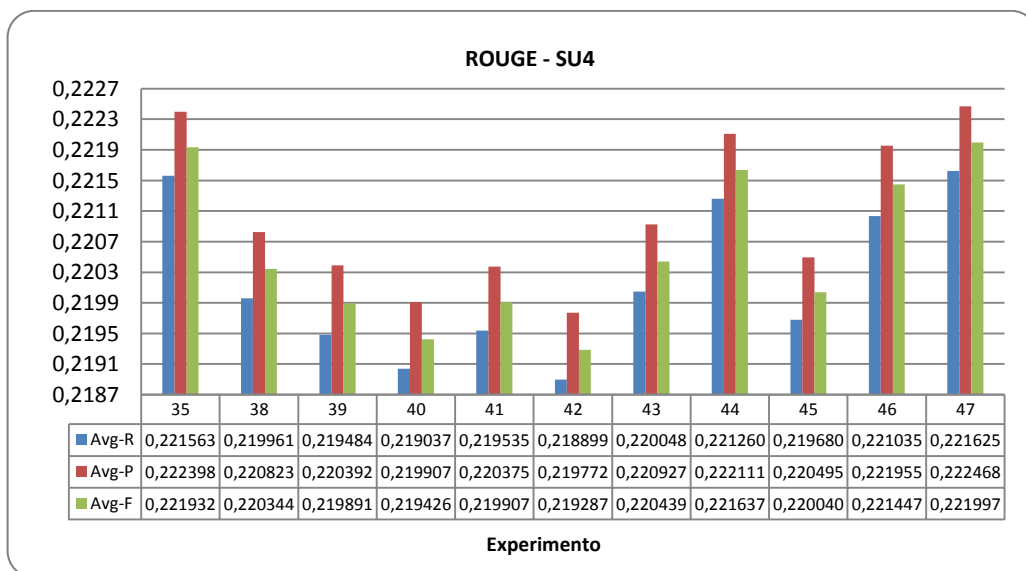


Figura 194. Tercer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-1



**Figura 195.** Tercer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-2



**Figura 196.** Tercer grupo de experimentos de GLS, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede observar que de los experimentos que consideran una fracción del valor de aptitud del máximo local el que mejor comportamiento presenta es el 44, sin embargo, es superado por dos de los experimentos que consideran valores constantes para  $\lambda$ , ellos son el 35 y el 47. De estos últimos, el 47 supera al 35 en las medidas de R1 y RSU4, por lo que, finalmente el mejor experimento obtenido en esta etapa es el 47, que considera un valor constante para  $\lambda$  de 0.5.

## 5 CUARTA ETAPA: BÚSQUEDA TABÚ

El objetivo de esta tercera etapa es estudiar el comportamiento de la *Búsqueda Tabú* dentro del algoritmo memético propuesto y está conformada por seis experimentos, donde cada uno considera una variación en la aplicación de la búsqueda. Las implementaciones evaluadas en estos experimentos hacen uso de una estructura de memoria basada en la calidad<sup>14</sup> de las soluciones o basada en la frecuencia.

En el primer experimento de esta etapa, se evalúa una implementación en la cual un movimiento es marcado como tabú si no conduce a una mejor solución que la actual; adicionalmente, si en un instante determinado un movimiento que lleva a una mejora de la solución actual está marcado como tabú, entonces es almacenado en una memoria que será examinada al final de la optimización en busca de una solución mejor que la que se ha conseguido hasta el momento con el proceso (Exp. 48) (Ver Figura 197).

El segundo experimento, evalúa un enfoque similar al anterior, con la diferencia de que no maneja una memoria adicional y, además, controla la cantidad de movimientos penalizados a través de un parámetro de permanencia predeterminado; de este modo, cuando la cantidad de movimientos censurados sobrepasa dicho parámetro, se hace una actualización, despenalizando los movimientos más favorables (Exp. 49) (Ver Figura 198).

Por su parte, el tercer experimento, en lugar de penalizar un movimiento completo, castiga uno de los bits que participan en él; de esta manera, teniendo en cuenta que esta implementación funciona bajo el mismo esquema de intercambio utilizado en la *Búsqueda Básica del Mejor* (Exp. 1), el bit que es desactivado durante el intercambio es marcado como prohibido hasta que los movimientos censurados sean actualizados con base en un parámetro de permanencia (Exp. 50) (Ver Figura 199).

El cuarto experimento considera una implementación que hace uso de un *período tabú*; así, un movimiento poco favorable es penalizado durante un tiempo correspondiente a dicho período (Exp. 51) (Ver Figura 200).

La implementación examinada en el quinto experimento, penaliza las soluciones de acuerdo a un atributo de frecuencia; de esa manera, cuando una solución es evaluada en una optimización, la frecuencia de cada una de sus frases activas es aumentada; así, la probabilidad de que una solución sea castigada crece conforme a la frecuencia de las frases que contiene (Exp. 52) (Ver Figura 201).

El sexto experimento maneja un enfoque similar al anterior, la diferencia radica en que la frecuencia de las frases de una solución aumenta únicamente si dicha solución lleva a un deterioro de la solución actual (Exp. 53) (Ver Figura 202).

---

<sup>14</sup> La calidad medida en función del valor de aptitud.

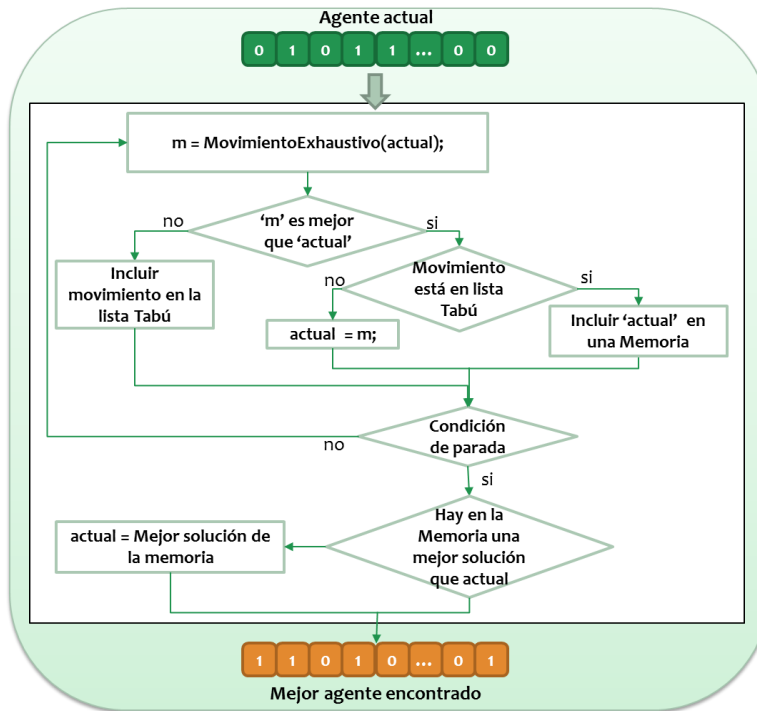


Figura 197. Búsqueda Tabú: Primera implementación

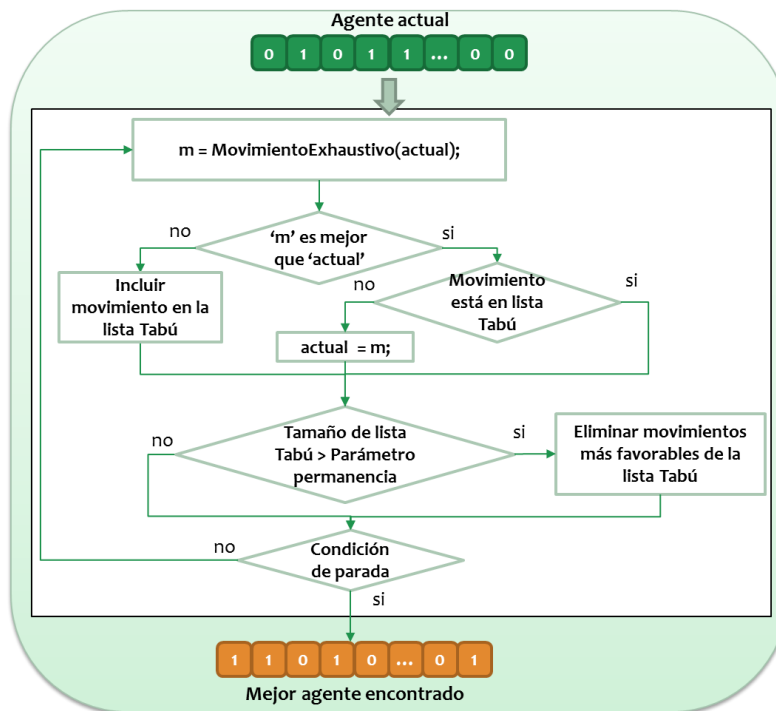


Figura 198. Búsqueda Tabú: Segunda implementación

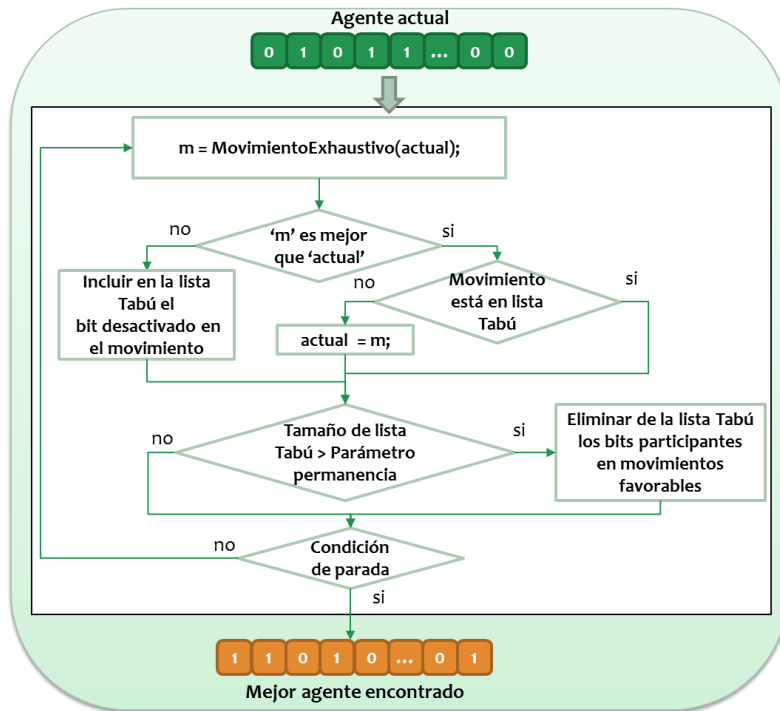


Figura 199. Búsqueda Tabú: Tercera implementación

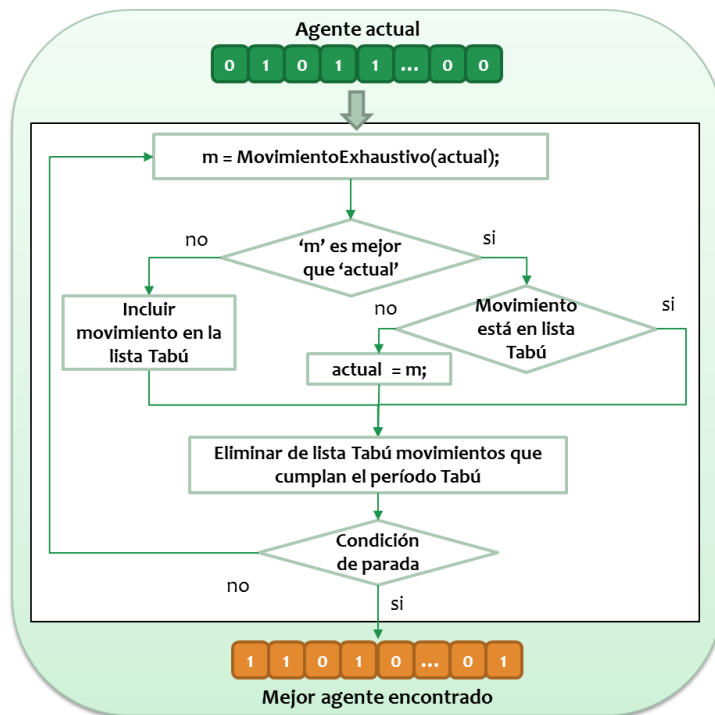


Figura 200. Búsqueda Tabú: Cuarta implementación

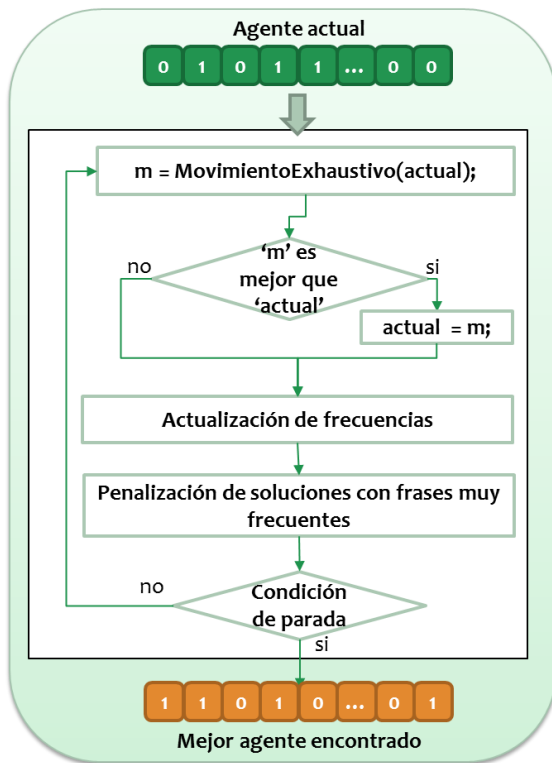


Figura 201. Búsqueda Tabú: Quinta implementación

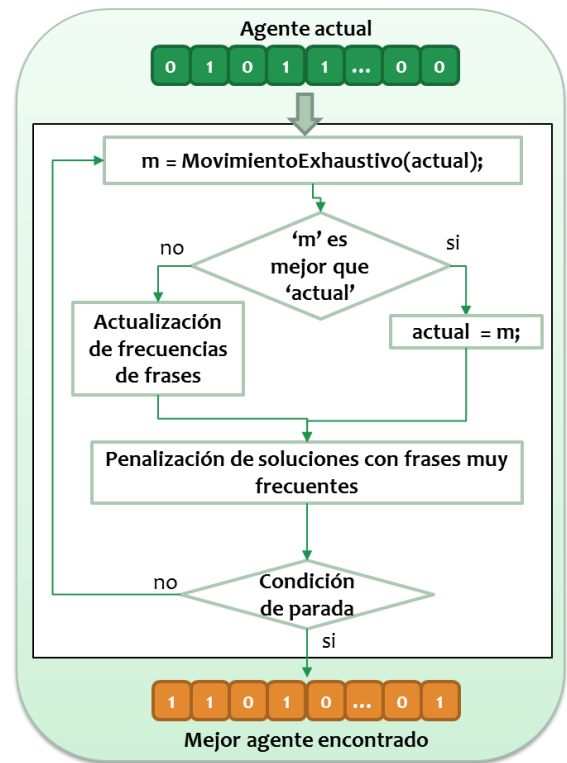


Figura 202. Búsqueda Tabú: Sexta implementación

La configuración de cada uno de los experimentos descritos se observa en la Tabla 61, así como los resultados respectivos. Los mismos datos se presentan gráficamente en las Figuras 203, 204 y 205.

Exp.	Técnica Tabú	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
48	Tabú 1	0,450963	0,452491	0,451623	0,198213	0,198981	0,198554	0,218292	0,219146	0,218669
49	Tabú 2	0,452415	0,454158	0,453187	<b>0,199851</b>	<b>0,200673</b>	<b>0,200222</b>	<b>0,219898</b>	<b>0,220834</b>	<b>0,220319</b>
50	Tabú 3	0,451866	0,453524	0,452594	0,199144	0,199939	0,199500	0,219246	0,220147	0,219648
51	Tabú 4	0,451178	0,452707	0,451839	0,198767	0,199513	0,199098	0,218767	0,219612	0,219140
52	Tabú 5	0,451553	0,453168	0,452262	0,198710	0,199505	0,199068	0,219170	0,220065	0,219571
53	Tabú 6	<b>0,452917</b>	<b>0,454593</b>	<b>0,453656</b>	0,199769	0,200574	0,200131	0,219852	0,220757	0,220257

Tabla 61. Resultados Experimentos Búsqueda Tabú



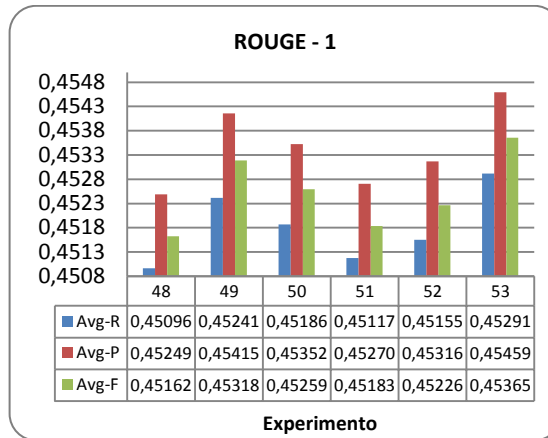


Figura 203. Búsqueda Tabú, ROUGE-1

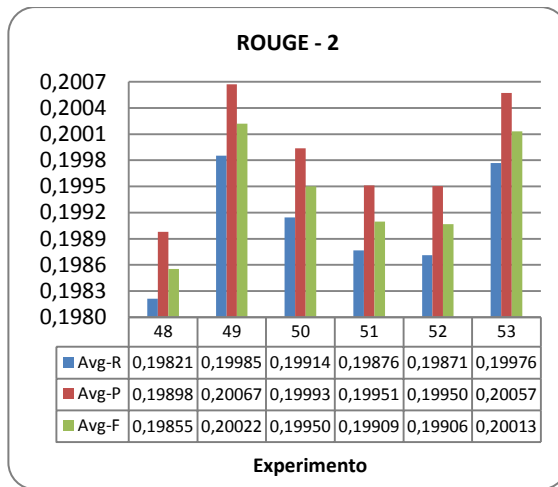


Figura 204. Búsqueda Tabú, ROUGE-2

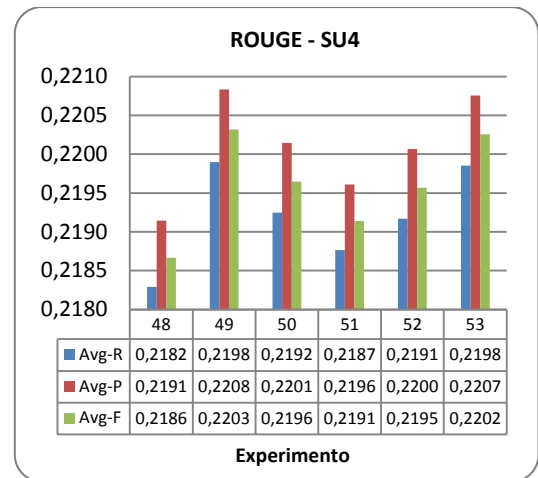


Figura 205. Búsqueda Tabú, ROUGE-SU4

Revisando los resultados, se observa que el comportamiento de todos los experimentos de esta etapa en las tres medidas de ROUGE es muy similar y que los experimentos que sobresalen son el 49 y 53. Sin embargo, el experimento 49 se destaca en dos medidas más que el 53 (R2 y RSU4). De esta forma, se considera que el mejor desempeño es mostrado por la implementación evaluada en el experimento 49, la cual utiliza un enfoque basado en la penalización de los movimientos menos favorables y en el control de permanencia orientado a beneficiar las mejores soluciones (denominado dentro de este proceso como *Búsqueda Tabú 2*).

## 6 QUINTA ETAPA: Búsqueda Local Iterativa

La quinta etapa de experimentos está dirigida a la evaluación de la *Búsqueda Local Iterativa*. Esta etapa se divide en tres grupos. El primero de ellos es definido con el fin de establecer la implementación de la ILS que mejor se adapte al problema abordado. El

segundo grupo tiene como finalidad establecer la estrategia de *perturbación* más apropiada para alcanzar un mejor desempeño mediante la ILS. Finalmente, el último grupo está orientado a la afinación de la *fuerza de perturbación*, la cual determinará la magnitud en que una solución puede ser afectada por la estrategia de perturbación aplicada.

### 6.1 PRIMER GRUPO: Establecimiento del esquema de la ILS

Con este primer grupo de experimentos se pretende llegar a la implementación de la ILS que mejor se ajuste al problema que se aborda. En ese sentido, se establecen dos experimentos, el primero, evalúa un esquema basado en el enfoque de *Lourenco* [44], aplicando la definición pura de la ILS y utilizando como búsqueda local interna la *Búsqueda Básica del Mejor (ILS1)* (Ver Figura 206).

El segundo experimento, por su parte, examina una adaptación que busca un mayor acoplamiento a las propiedades poblacionales de la implementación del algoritmo memético propuesto, de esa forma, se incorpora una variación al esquema de la ILS, tomando también como búsqueda local interna la *Búsqueda Básica del Mejor* pero realizando una perturbación sólo cuando dicha búsqueda no sea capaz de llegar a un mejor agente (*ILS2*) (Ver Figura 207).

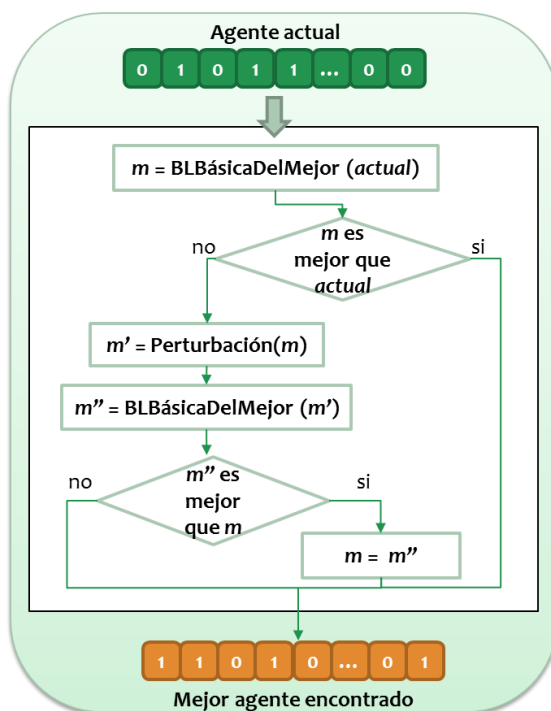


Figura 206. Esquema ILS1

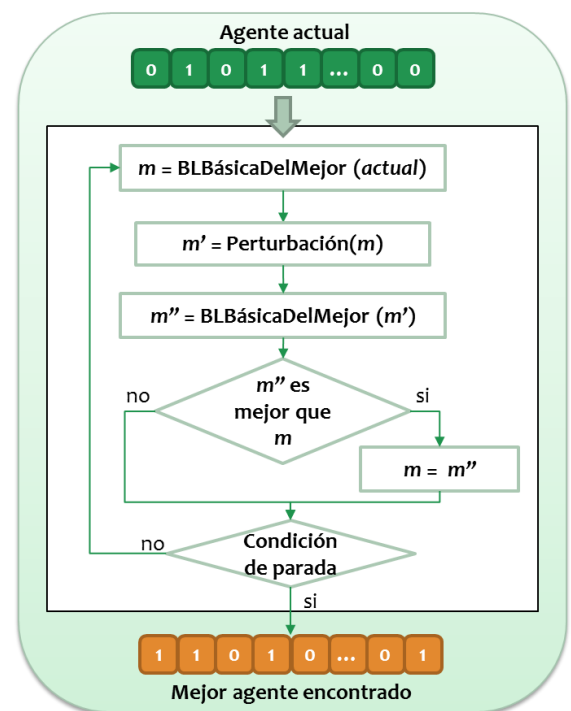


Figura 207. Esquema ILS2

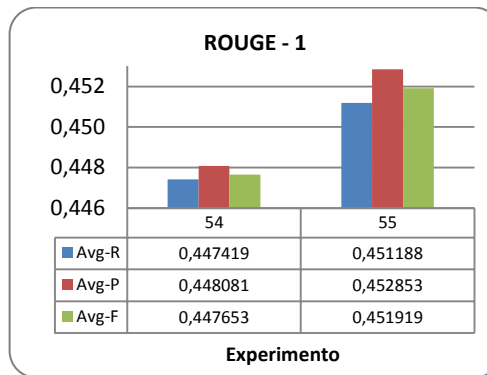
La *estrategia de perturbación* utilizada en los experimentos de este grupo escoge aleatoriamente uno o más bits (dependiendo de la fuerza de perturbación) y cambia su

valor. Por su parte, la *fuerza de perturbación* utilizada corresponde a un 10% del tamaño del agente.

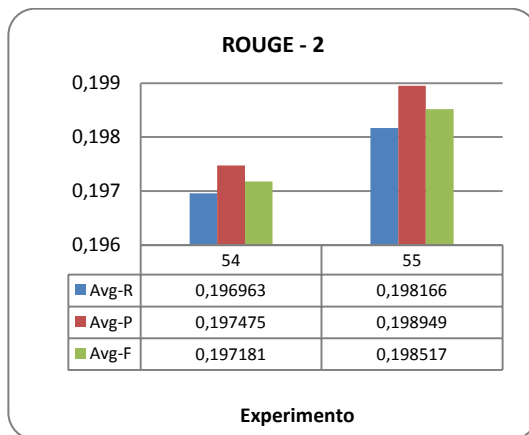
En la Tabla 62 se muestran los resultados de estos experimentos y en las Figuras 208, 209 y 210 se presentan gráficamente estos datos.

Exp.	Técnica ILS	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
54	ILS 1	0,447419	0,448081	0,447653	0,196963	0,197475	0,197181	0,216372	0,216895	0,216588
55	ILS 2	0,451188	0,452853	0,451919	0,198166	0,198949	0,198517	0,218699	0,219588	0,219096

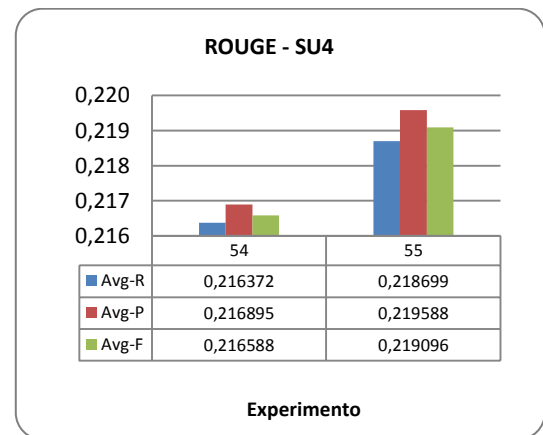
**Tabla 62.** Resultados del primer grupo de experimentos de ILS



**Figura 208.** Primer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-1



**Figura 209.** Primer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-2



**Figura 210.** Primer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-SU4

De acuerdo a los datos presentados, evidentemente el experimento con mejor desempeño es el que aplica la implementación *ILS2* descrita anteriormente (Exp. 55), así pues, este experimento constituye el punto de partida para las experimentaciones del siguiente grupo.

## 6.2 SEGUNDO GRUPO: Establecimiento de la estrategia de perturbación

Este segundo grupo de experimentos tiene como finalidad establecer la estrategia de *perturbación* más apropiada para alcanzar un mejor desempeño mediante la ILS. Para la definición de los experimentos de este grupo es importante tener en cuenta que algunas de las estrategias de perturbación evaluadas hacen uso de un criterio de selección para determinar las frases que serán afectadas con la aplicación de la perturbación, dicho criterio puede estar basado en la *similitud al documento* de la frase o en una combinación de factores de *posición y relación con el título*<sup>15</sup> de la frase. De esta forma, los tres primeros experimentos de este grupo aplican una estrategia de perturbación independiente de un criterio de selección (Exp. 56-58). Los siguientes dos experimentos evalúan estrategias de perturbación con un criterio de selección basado en la similitud al documento (Exp. 59 y 60), mientras que los últimos dos experimentos lo hacen con un criterio basado en la combinación de posición y relación con el título (Exp. 61 y 62). El funcionamiento de las estrategias de perturbación aplicadas puede verse en la Tabla 63.

Perturbación	Descripción <sup>16</sup>
P1	Escoge aleatoriamente una frase, si dicha frase está activada entonces la desactiva y viceversa (Ver Figura 211).
P2	De acuerdo al criterio de selección utilizado, elimina una oración con un peso bajo para incluir otra con un peso más alto (Ver Figura 212).
P3	Adiciona frases que no estaban incluidas en la solución. Aquellas oraciones con peso más alto, de acuerdo al criterio de selección utilizado, tienen más opción de ser adicionadas (Ver Figura 213).
P4	De las frases que no habían sido incluidas previamente en la solución, escoge una aleatoriamente y la adiciona a la solución (Ver Figura 214).
P5	Crea un agente aleatorio (Ver Figura 215).

Tabla 63. Descripción de estrategias de perturbación ILS

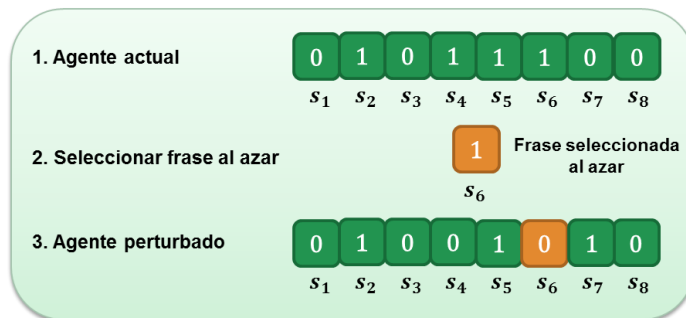


Figura 211. Esquema Perturbación P1

<sup>15</sup> Ambos criterios son calculados como se presentó en la Sección 4 de Búsqueda Local Guiada.

<sup>16</sup> La cantidad de frases afectadas por una perturbación puede ser mayor a uno, dependiendo de la fuerza de perturbación utilizada. En cualquiera de las estrategias de perturbación presentadas se hace control de las restricciones de longitud mínima y máxima para un resumen.

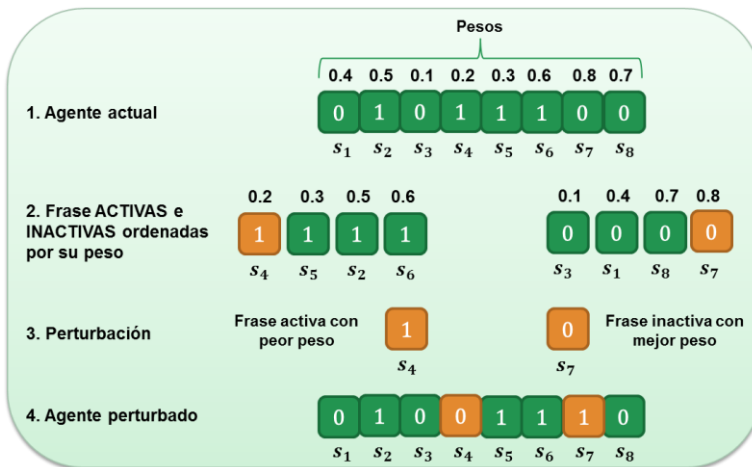


Figura 212. Esquema Perturbación P2

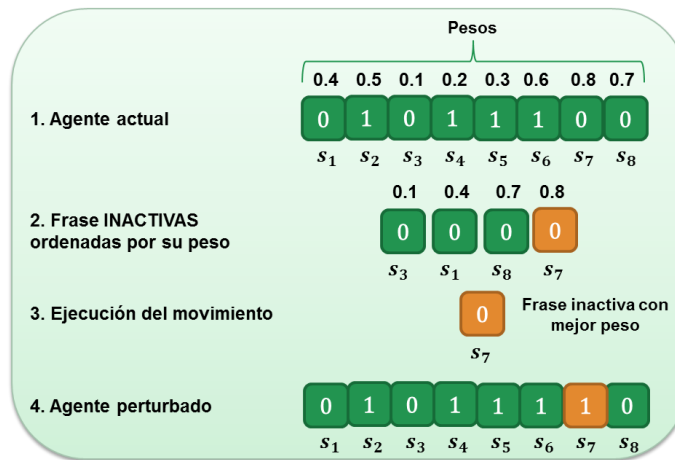


Figura 213. Esquema Perturbación P3

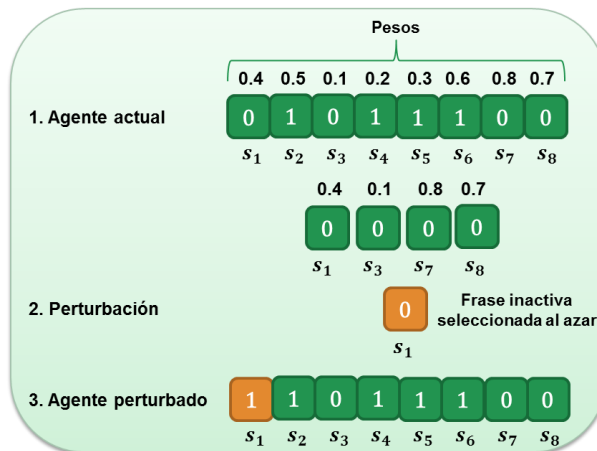
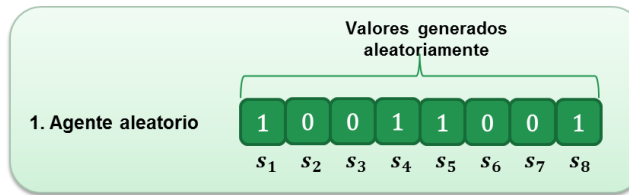


Figura 214. Esquema Perturbación P4

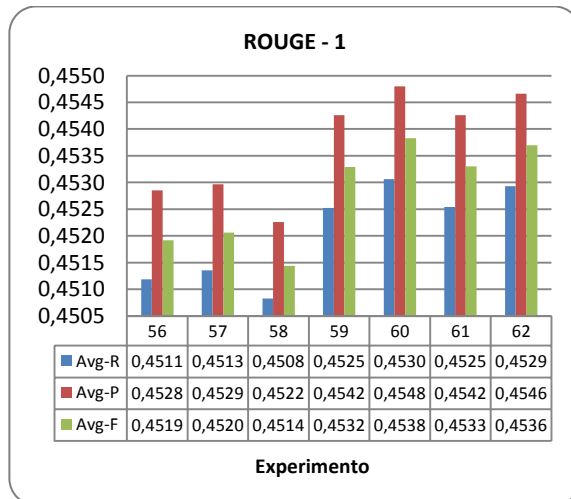


**Figura 215.** Esquema Perturbación P5

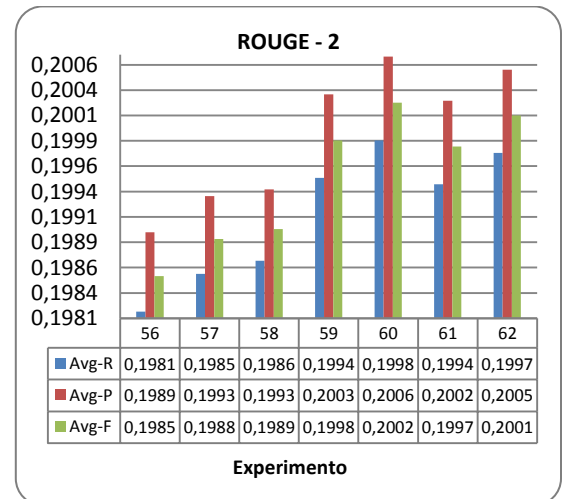
Cabe anotar, además, que la *fuerza de perturbación* utilizada en los experimentos de este grupo corresponde a un 10% del tamaño del agente, a excepción de la Perturbación5 que no utiliza dicho elemento. En la Tabla 64 se presentan los resultados de estos experimentos y en las Figuras 216, 217 y 218 se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Per.	Criterio	R1R			R2R			RSU4		
			Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
56	P1	-	0,451188	0,452853	0,451919	0,198166	0,198949	0,198517	0,218699	0,219588	0,219096
57	P4	-	0,451353	0,452969	0,452062	0,198538	0,199305	0,198881	0,218959	0,219827	0,219346
58	P5	-	0,450827	0,452258	0,451441	0,198667	0,199371	0,198978	0,218848	0,219645	0,219198
59	P2	Criterio basado en similitud al documento	0,452526	0,454258	0,453292	0,199483	0,200309	0,199855	0,219631	0,220558	0,220047
60	P3		0,453062	0,454800	0,453831	0,199855	0,200680	0,200227	0,220021	0,220951	0,220438
61	P2	Criterio basado en posición y relación con el título	0,452540	0,454261	0,453301	0,199420	0,200246	0,199792	0,219621	0,220547	0,220037
62	P3		0,452931	0,454660	0,453696	0,199730	0,200553	0,200100	0,219909	0,220836	0,220325

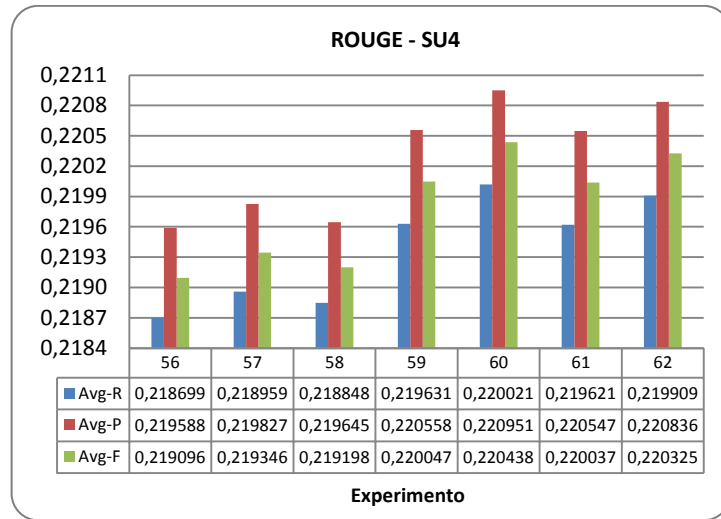
**Tabla 64.** Resultados del segundo grupo de experimentos de ILS



**Figura 216.** Segundo grupo de experimentos de ILS, ROUGE-1



**Figura 217.** Segundo grupo de experimentos de ILS, ROUGE-2



**Figura 218.** Segundo grupo de experimentos de ILS, ROUGE-SU4

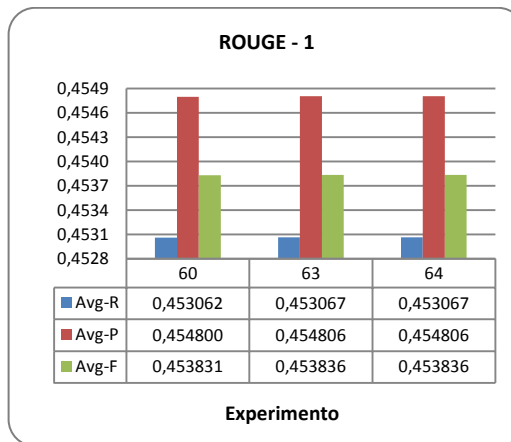
A partir de los resultados obtenidos, se observa que el desempeño más bajo es presentado por aquellos experimentos cuya estrategia de perturbación está orientada a la aleatoriedad (Exp. 56-58). Por su parte, los experimentos que incluyen una estrategia dirigida al mejoramiento de las soluciones, presentan un mejor comportamiento, destacándose aquellos en los que se evalúa la perturbación *P3*, la cual ofrece la posibilidad de adicionar las frases con mayor peso que no se habían tenido en cuenta en la solución actual. (Exp. 60 y 62). De esta manera, el experimento que más sobresale dentro de este grupo, y que será el punto de partida para el siguiente grupo de experimentos, es el 60.

### 6.3 TERCER GRUPO: Afinación de la fuerza de perturbación

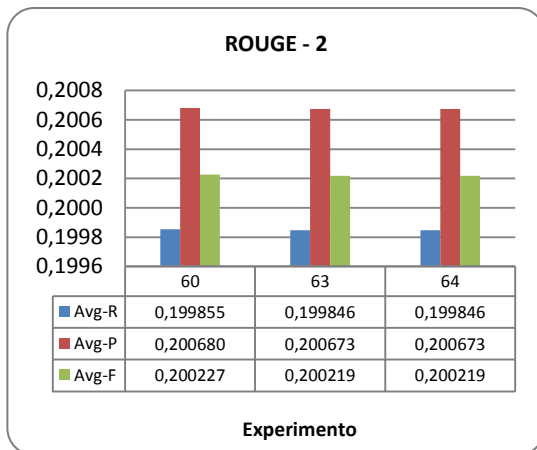
Partiendo del mejor experimento obtenido en el grupo anterior, el tercer grupo de experimentos busca ajustar el valor de la fuerza de perturbación, es decir, establecer la magnitud con que la estrategia de perturbación afectará una solución. De este modo, cada uno de los experimentos de este grupo evalúa un valor diferente para la fuerza de perturbación, la cual es manejada como un porcentaje o fracción del tamaño de la solución. La máxima fuerza de perturbación evaluada es 50%, con el fin de evitar llegar a una exploración casi aleatoria, que se ocasionaría con perturbaciones demasiado fuertes. En la Tabla 65 se muestran los resultados de este grupo y en las Figuras 219, 220 y 221 se presentan gráficamente.

Exp.	Pert.	Fuerza de Pert. (%)	R1R			R2R			RSU4		
			Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>60</b>	<i>P3</i>	10	0,453062	0,454800	0,453831	<b>0,199855</b>	<b>0,200680</b>	<b>0,200227</b>	<b>0,220021</b>	<b>0,220951</b>	<b>0,220438</b>
<b>63</b>	<i>P3</i>	20	<b>0,453067</b>	<b>0,454806</b>	<b>0,453836</b>	0,199846	0,200673	0,200219	0,220018	0,220949	0,220436
<b>64</b>	<i>P3</i>	50	0,453067	0,454806	0,453836	0,199846	0,200673	0,200219	0,220018	0,220949	0,220436

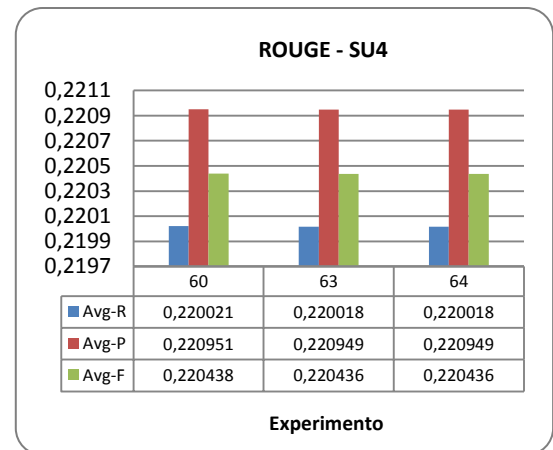
**Tabla 65.** Resultados del tercer grupo de experimentos de ILS



**Figura 219.** Tercer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-1



**Figura 220.** Tercer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-2



**Figura 221.** Tercer grupo de experimentos de ILS, ROUGE-SU4

Al revisar estos resultados, es claro que el cambio en los valores de la fuerza de perturbación afecta muy poco el desempeño de la estrategia de perturbación, tanto así que a partir del tercer experimento los resultados dejan de variar. Este comportamiento se debe, muy probablemente, a que la técnica utilizada en la estrategia de perturbación está altamente enfocada a alcanzar las mejores soluciones, por lo que un aumento en la fuerza de perturbación no resulta en una mejora considerable. Con base en estos datos, finalmente el mejor experimento obtenido en esta etapa es el 63.

## 7 ANÁLISIS FINAL DE RESULTADOS

Como paso final de este ciclo, se recopilan los mejores experimentos obtenidos en cada etapa para establecer, finalmente, el mejor método de búsqueda local con el cual se continuará el ciclo de definición de la función objetivo final (Ver Tabla 66). En las Figuras 222, 223 y 224 se muestran gráficamente los resultados de estos experimentos.



Exp.	Técnica Búsqueda Local	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	BL Básica del Mejor	0,453300	0,455090	0,454100	0,199830	0,200680	0,200210	0,220060	0,221020	0,220490
20	VND2	0,452223	0,453844	0,452934	0,199772	0,200554	0,200123	0,219822	0,220711	0,220219
26	RVNS2	0,446887	0,448551	0,447625	0,194677	0,195534	0,195067	0,215768	0,216728	0,216203
27	BVNS	0,440251	0,441608	0,440828	0,189189	0,189879	0,189494	0,210380	0,211153	0,210718
47	GLS	<b>0,454396</b>	<b>0,455910</b>	<b>0,455050</b>	<b>0,201804</b>	<b>0,202555</b>	<b>0,202138</b>	<b>0,221625</b>	<b>0,222468</b>	<b>0,221997</b>
49	BL Tabú 2	0,452415	0,454158	0,453187	0,199851	0,200673	0,200222	0,219898	0,220834	0,220319
63	ILS	0,453067	0,454806	0,453836	0,199846	0,200673	0,200219	0,220018	0,220949	0,220436

Tabla 66. Resultados de los mejores experimentos del operador de BL

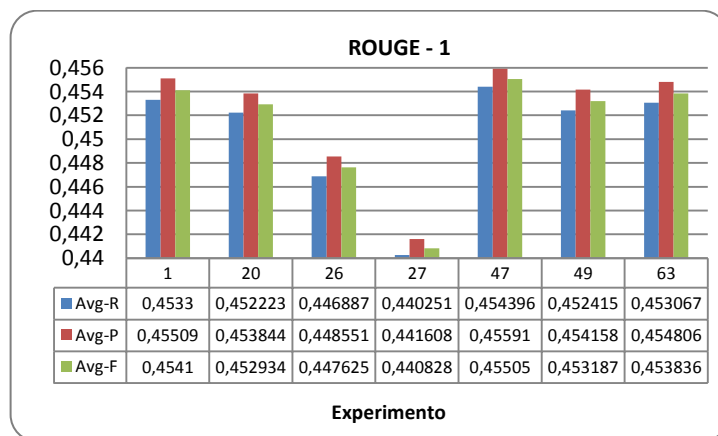


Figura 222. Mejores experimentos del operador de BL, ROUGE-1

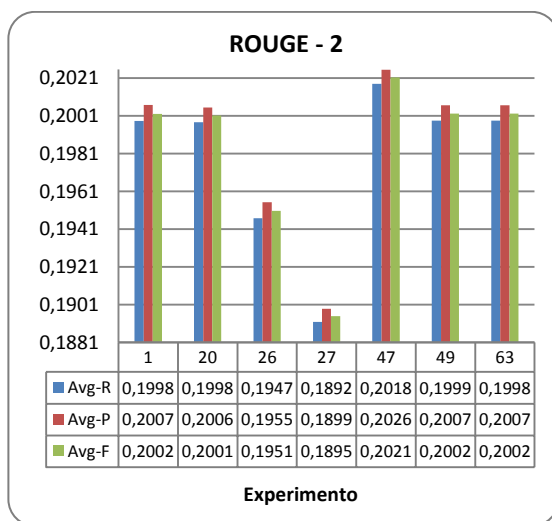


Figura 223. Mejores experimentos del operador de BL, ROUGE-2

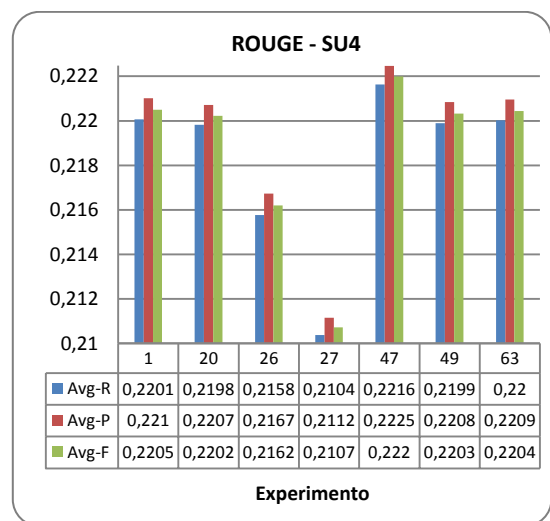


Figura 224. Mejores experimentos del operador de BL, ROUGE-SU4

Revisando los resultados presentados, se observa que la técnica de búsqueda local con mejor desempeño es la evaluada en el experimento 47, la cual considera la estrategia de *Búsqueda Local Guiada* que utiliza una combinación de los factores de *Posición* y *Relación con el Título* para calcular el costo de las características y un valor constante para el parámetro  $\lambda$  de 0.05. Este comportamiento indica que, para la solución planteada, mantener una estrategia de exploración dirigida mejora el desempeño del algoritmo memético.

Por otra parte, se observa que la mayoría de métodos evaluados no logra superar los resultados presentados por la *Búsqueda Local Básica*. Este hecho se debe a que, además de que esta técnica constituye el núcleo de implementación de los demás enfoques de búsqueda local propuestos, su estrategia pretende orientar la exploración hacia las soluciones más aptas de la población, por lo que la adición de nuevas propiedades de mejoramiento al algoritmo se torna en una tarea más exigente que requiere de estrategias más minuciosas que, además, exploten las mejores características de evaluación de las frases.

# ***ANEXO D – DEFINICIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO***

---

## 1 CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

La definición de la función objetivo es un aspecto de suma importancia en el diseño de la solución propuesta en esta investigación. Sin embargo, teniendo en cuenta que al inicio del presente estudio aún no se tenía establecido el esquema evolutivo más apropiado conforme a las condiciones del problema abordado, pero aun así era imprescindible contar con un diseño de la función objetivo para su funcionamiento, se optó por iniciar con una configuración provisional que abarcara gran parte de los factores estudiados, considerando los buenos resultados de su aplicación, presentados en proyectos similares.

A pesar de que todas las características expuestas en este estudio sobresalen dentro de la literatura de generación automática de resúmenes, no todas fueron consideradas en la función objetivo preliminar, de esta manera, en la Tabla 67 se presentan las características incluidas en esta función objetivo y en la Tabla 68 se presentan cuatro que no fueron tomadas en cuenta, junto a los criterios que llevaron a no incluirlas en dicha configuración.

Característica	Criterio de inclusión
<i>Posición</i>	La importancia de una oración suele estar relacionada con su posición dentro del texto, y además, considerando que esta técnica funciona muy bien en artículos de noticias y teniendo en cuenta las cualidades de la colección de documentos de prueba (DUC 2002) es usual que la información más importante aparezca al inicio del texto [47, 48].
<i>Longitud</i>	Se presume que las oraciones con una longitud demasiado corta no contienen información importante para la elaboración del resumen, sin embargo, se selecciona un cálculo basado en la función sigmoidea para evitar la tendencia hacia oraciones muy extensas y dar oportunidad también a oraciones de longitud media.
<i>Cobertura a nivel de términos WSS</i>	Esta característica presenta resultados prometedores en otras investigaciones [49, 50], además se presume que las oraciones que cubran gran parte del contenido principal del documento aportan calidad al resumen generado. Dentro de este estudio se indagaron dos tipos de cobertura: <i>a nivel de términos WSS</i> y <i>a nivel de oraciones</i> , la primera fue seleccionada arbitrariamente para iniciar este estudio, mientras que el comportamiento de la otra es estudiado en la definición de la función objetivo final.
<i>Cohesión</i>	El grado de relación entre las oraciones que conforman un resumen determina su fácil entendimiento y por lo tanto influye en su calidad.
<i>Legibilidad</i>	El grado de relación entre oraciones contiguas de un resumen puede ser determinante en su calidad, al presentar al lector un texto breve pero a la vez claro y fácil de leer.

**Tabla 67.** Criterios de inclusión de características de la FO preliminar

Característica	Criterio de exclusión
<i>Frecuencia de las palabras en el contenido</i>	Este cálculo involucra un peso basado en la frecuencia de los términos en un documento. Debido a que la representación de los documentos se realizó por medio del modelo vectorial, los términos se ponderan a través de TF-IDF, lo que involucra un procesamiento determinado también por la frecuencia de los términos en el documento. Este hecho, supone que la utilización de esta característica resultaría en un cálculo redundante en la función objetivo.
<i>Similitud de una oración con otra</i>	Esta característica fue excluida de la configuración inicial, pues, en su forma pura, es poco probable que aporte información relevante para la evaluación. Sin embargo, su utilización está incorporada dentro de los cálculos de otras características de la función objetivo, donde la información que brinde puede ser más provechosa.
<i>Factor de Cobertura</i>	El factor de cobertura a nivel de términos se incluyó en la función objetivo preliminar, y el factor de cobertura a nivel de oraciones se incluyó en la etapa de configuración final de la función objetivo. El estudio de esta característica dentro de esta investigación es importante con el fin de determinar si su comportamiento en la generación de resúmenes de un solo documento es sobresaliente como lo ha sido en la de múltiples [49].
<i>Factor de Relación con el Título</i>	Al iniciar la investigación, se consideró que esta característica sería excluida de la función objetivo, pues aparentemente la información que podría ofrecer no sería valiosa para evaluar un resumen. Sin embargo, después de un estudio más profundo, se resolvió que el título de un documento es un aspecto crucial que refleja la esencia del texto presentado y cuya importancia ha aumentado sustancialmente con los avances tecnológicos, que exigen un mayor vínculo entre un texto y su título con miras a mejorar el posicionamiento Web y enfrentar exitosamente el crecimiento de información electrónica [51-54]. Por esta razón, el estudio del comportamiento de esta característica se contempla en la fase de configuración de la función objetivo final.

**Tabla 68.** Criterios de exclusión de características de la FO preliminar

Así pues, la función objetivo preliminar, con la que se comenzaron las primeras experimentaciones, fue definida como se muestra en la Ecuación ( 9), la fórmula matemática utilizada para cada características se observa en la Ecuación ( 10).

$$f(x) = \text{Posición} + \text{Longitud} + \text{CoberturaWSS} + \text{Cohesión} + \text{Legibilidad} \quad (9)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \left[ \sqrt{\frac{1}{n_i}} + \frac{1 - e^{-\frac{l(s_i) - \mu(l(s_i))}{std(l(s_i))}}}{1 + e^{-\frac{l(s_i) - \mu(l(s_i))}{std(l(s_i))}}} + \left( 0.1 + \frac{\sum_{t_j \in s_i}^k w_{ij}}{\sum_{i=1}^k \max w_{ij}} \right) \right] + \frac{\log(C_s * 9 + 1)}{\log(M * 9 + 1)} + \frac{\sum_{i=0}^{n-1} sim(s_i, s_{i+1})}{\text{máximoR}} \quad (10)$$

## 2 CONFIGURACIÓN FINAL DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

La definición de una función objetivo apropiada, que obedezca a las condiciones esenciales del problema planteado, es crucial y determinante en el comportamiento del algoritmo memético. Por esta razón, dentro de la presente investigación, este aspecto fue tratado minuciosamente, estableciendo varias propuestas de diseño para la función objetivo y analizando el desempeño conseguido en cada caso.

El proceso de diseño de la función objetivo se realizó en dos etapas de estudio. En la primera, al igual que en los ciclos de definición de operadores y de búsqueda local, se utilizó sólo 10 conjuntos de datos de la colección de documentos de DUC 2002, es decir, sólo 70 documentos en total. En la segunda etapa se trabajó la colección completa de datos de la misma colección, que consta de 567 archivos distribuidos en 59 carpetas.

Por otro lado, cabe señalar que el estudio realizado en esta parte del proyecto, se llevó a cabo posterior a la obtención del esquema definitivo del algoritmo memético, es decir, después de que los operadores reproductivos y de optimización local, que forman el algoritmo final, habían sido establecidos. Así pues, el diseño de la función objetivo final se inicia tomando como punto de referencia la configuración preliminar utilizada en el proceso de definición de los elementos del algoritmo memético.

### 2.1 PRIMERA ETAPA DE CONFIGURACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

En la primera etapa de la configuración de la función objetivo, se realizaron tres bloques de experimentos, utilizando sólo 10 conjuntos de datos de la colección de documentos DUC 2002.

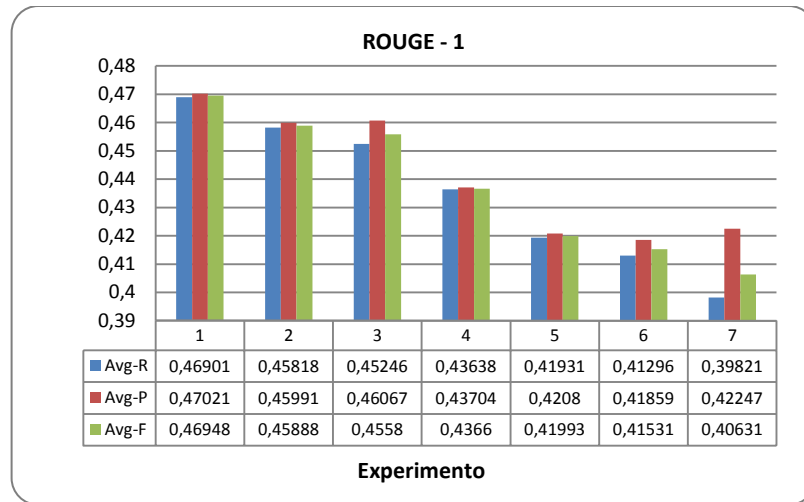
#### 2.1.1 Primer Bloque de Experimentos

El primer bloque se llevó a cabo con el fin de analizar el *desempeño individual*, bajo el esquema definitivo del algoritmo memético, de cada una de las posibles características que conformarían la función objetivo final. Este bloque de experimentos está conformado por siete configuraciones simples de la función objetivo, cada una definida por una sola característica, las cuales se listan en la Tabla 69, junto a los resultados de las medidas de ROUGE respectivos.

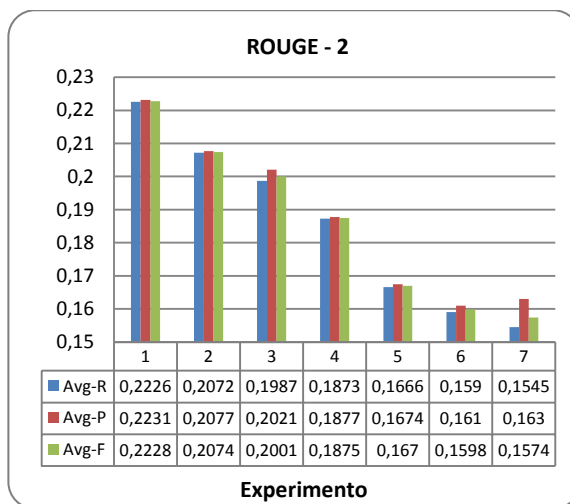
Exp.	Característica	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	Posición	0,46901	0,47021	0,46948	0,22258	0,22314	0,22280	0,23722	0,23789	0,23749
2	Relación con el título	0,45818	0,45991	0,45888	0,20723	0,20767	0,20738	0,22496	0,22570	0,22525
3	Cohesión	0,45246	0,46067	0,45580	0,19869	0,20209	0,20009	0,21709	0,22110	0,21873
4	Legibilidad	0,43638	0,43704	0,43660	0,18730	0,18774	0,18748	0,20982	0,21030	0,21001
5	Longitud	0,41931	0,42080	0,41993	0,16664	0,16742	0,16698	0,19083	0,19168	0,19120
6	WSS	0,41296	0,41859	0,41531	0,15902	0,16096	0,15984	0,18229	0,18474	0,18332
7	Cobertura	0,39821	0,42247	0,40631	0,15450	0,16302	0,15740	0,17772	0,18849	0,18129

**Tabla 69.** Resultados obtenidos de los experimentos 1 al 7 del primer bloque

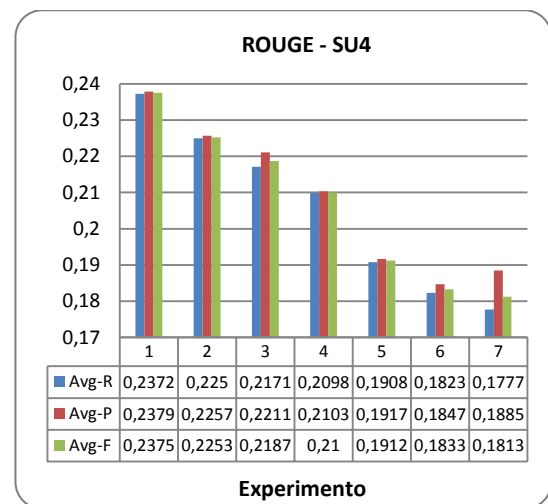
Con el fin de facilitar el análisis de los resultados, las Figuras 225, 226 y 227 muestran gráficamente las medidas de ROUGE para los experimentos del 1 al 7.



**Figura 225.** Experimentos 1 al 7 del primer bloque de diseño FO, ROUGE-1



**Figura 226.** Experimentos 1 al 7 del primer bloque de diseño FO, ROUGE-2



**Figura 227.** Experimentos 1 al 7 del primer bloque de diseño FO, ROUGE-SU4

En las gráficas se puede observar que los resultados conseguidos a partir de las tres primeras características, correspondientes a *Posición*, *Relación con el título* y *Cohesión*, sobresalen entre los demás experimentos. Esto, indica que dichas características aportan, de forma individual, información relevante para la evaluación de un resumen. A pesar de ello, aún es conveniente el análisis de aquellas características cuyo resultado fue poco prometedor, pues su comportamiento podría mejorar al acoplarse con otras. Por esta razón, el bloque inicial también comprende dos experimentos más, en los que la configuración de la función objetivo es más compleja, pues incluye la combinación de

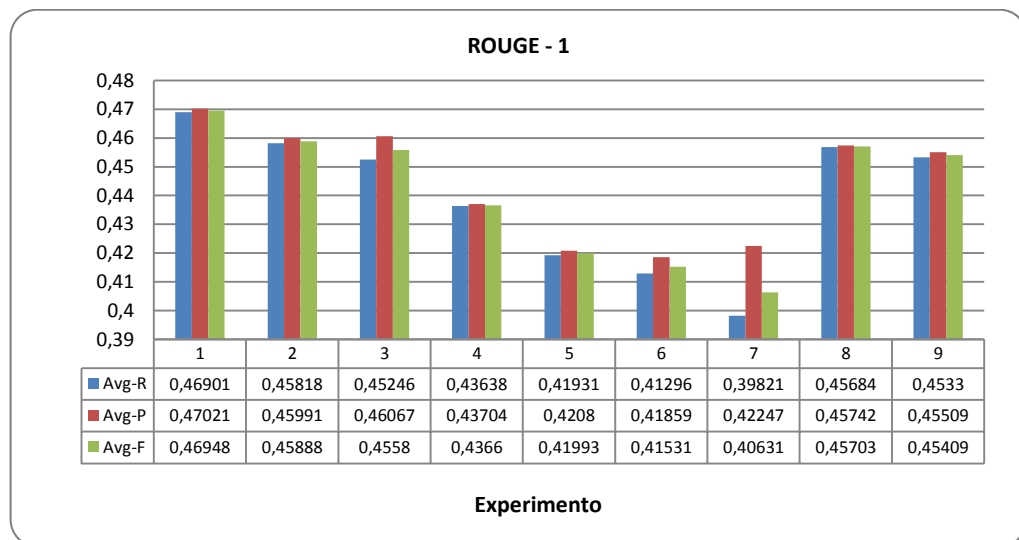
varios factores. El primero de esos experimentos se basa en la configuración preliminar de la función objetivo, utilizada para definir el esquema final del algoritmo memético, y reemplaza el *Factor WSS* por la *Cobertura a nivel de oraciones*, con el propósito de discriminar el aporte de cada una de estas características sobre los resultados (Exp. 8). El otro experimento corresponde exactamente a la configuración preliminar de la función objetivo que incluye el *Factor de cobertura a nivel de términos WSS* (Exp. 9). En la Tabla 70, se muestra la configuración de estas dos funciones objetivo y en la Tabla 71 se listan los resultados obtenidos para estos experimentos. En las Figuras 228, 229 y 230 se presentan gráficamente los resultados de todos los experimentos de este bloque.

Exp.	Características
8	Posición + Longitud + Cohesión + Legibilidad + Cobertura
9	Posición + Longitud + Cohesión + Legibilidad + WSS

**Tabla 70.** Configuración de la FO para los experimentos 8 y 9 del primer bloque de experimentos

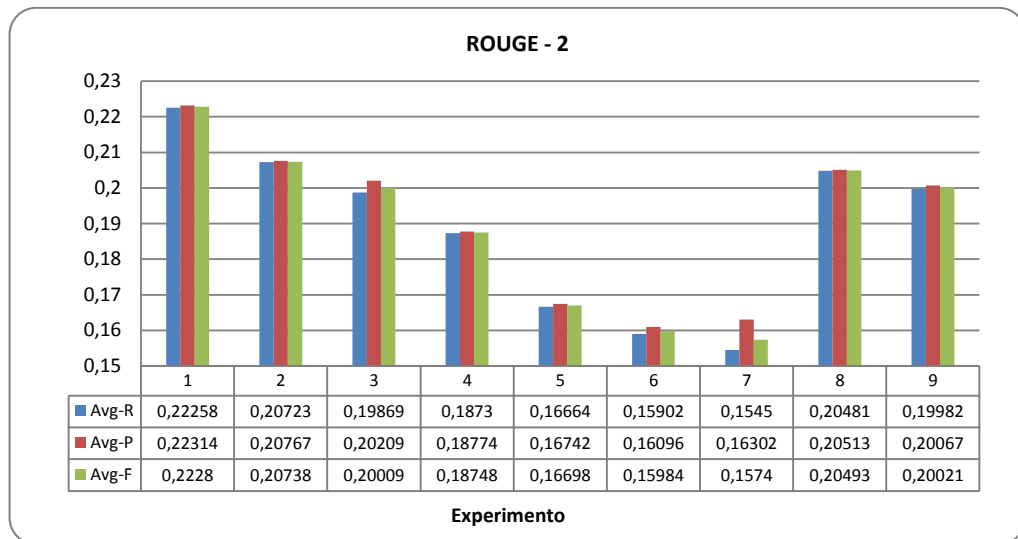
Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
8	0,45684	0,45743	0,45703	0,20482	0,20513	0,20493	0,22461	0,22505	0,22478
9	0,45330	0,45509	0,45410	0,19983	0,20068	0,20021	0,22006	0,22102	0,22049

**Tabla 71.** Resultados obtenidos de los experimentos 8 y 9 del primer bloque

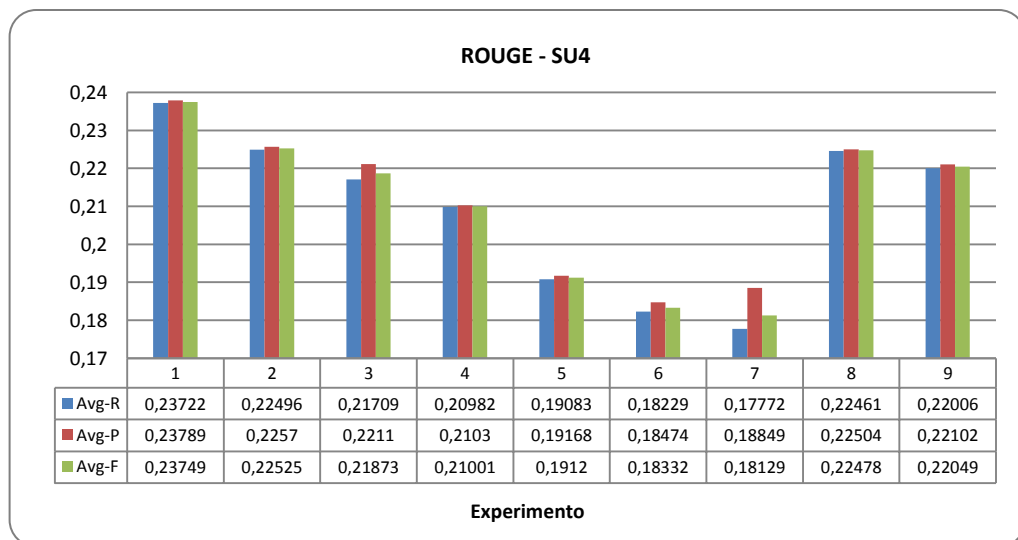


**Figura 228.** Primer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1





**Figura 229.** Primer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2



**Figura 230.** Primer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados presentados, se reafirma la necesidad de evaluar el rendimiento de las características en conjunto, pues examinando los Experimentos 8 y 9, se observa que al agregar factores a la definición de la función objetivo, el resultado mejora con respecto a otros que fueron obtenidos mediante configuraciones que consideran sólo una de estas características. Por ejemplo, el Experimento 7, definido únicamente por la *Cobertura a nivel de oraciones*, presenta el resultado más bajo de todas las características, mientras que el Experimento 6, compuesto sólo por la *Cobertura WSS*, logra superarlo. Sin embargo, al evaluar cada uno de estos dos factores conjuntamente con otro grupo de características, el comportamiento fue opuesto, presentando mejor resultado la *Cobertura a nivel de oraciones*.

De este modo, se estableció un criterio de acoplamiento basado en el comportamiento presentado por cada característica, con el fin de mejorar el resultado de las medidas de ROUGE. En ese sentido, a partir de un esquema general de la función objetivo, se fueron variando progresivamente determinadas características para evaluar el desempeño en conjunto, para cada caso.

### 2.1.2 Segundo Bloque de Experimentos

Con el segundo bloque de experimentos, se busca el acoplamiento entre las características probadas en la parte inicial del primer bloque, con el fin de buscar si es posible llegar a mejores resultados. De esta manera, se procede a la evaluación mediante pequeñas agrupaciones de experimentos, donde los resultados arrojados por un grupo son determinantes para la definición del siguiente. Los experimentos que conforman cada grupo se diferencian por la inclusión o exclusión de una o más características dentro la configuración correspondiente, con el propósito de determinar cuáles de ellas conviene considerar en la función objetivo, de acuerdo a los resultados entregados.

El primer grupo, conformado por los experimentos 10 y 11, toma en cuenta los resultados obtenidos en el bloque anterior, y considera una segunda prueba comparativa entre el factor de *Cobertura a nivel de términos WSS* y el factor de *Cobertura a nivel de oraciones*, evaluando su desempeño en articulación con la *Relación con el Título*. Las experimentaciones del segundo grupo, que van de la 12 a la 15, se enfocan en el análisis de los factores de *Relación con el título* y *Legibilidad*, con el propósito de diferenciar el comportamiento entre estas características. El tercer grupo, constituido por los experimentos 16 al 20, está enfocado, en gran parte, hacia el estudio comparativo entre dos características: la *Cohesión* y el mejor tipo de *Cobertura* resultante del primer grupo de experimentos, buscando así discriminar el desempeño de cada una en conjunción con otros factores. Las configuraciones y los resultados de este proceso pueden verse en las Tablas 72 y 73, respectivamente.

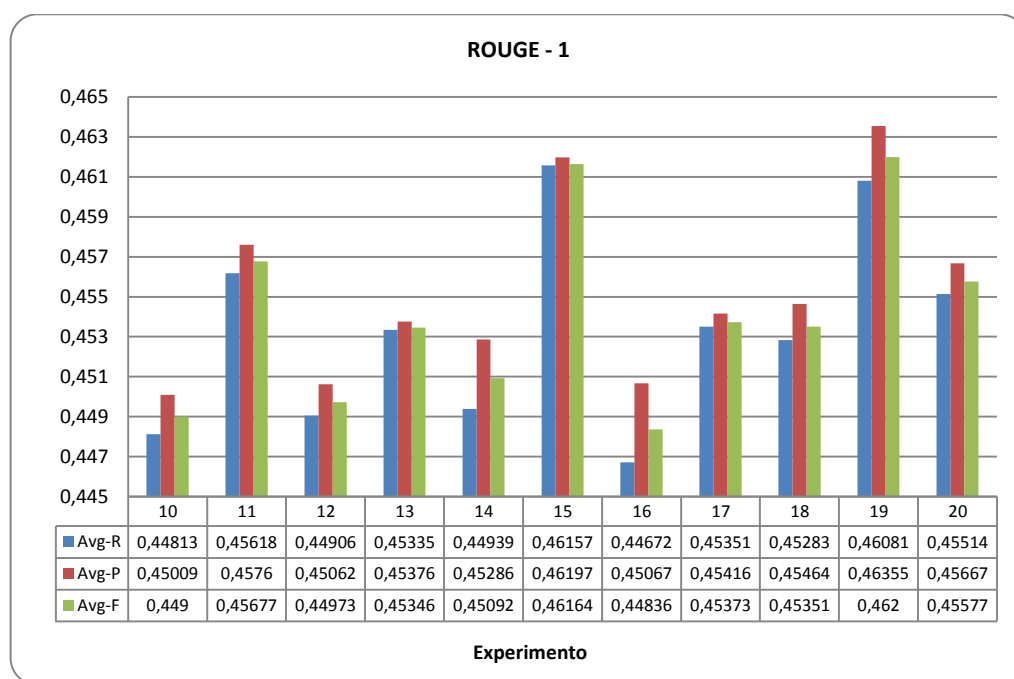
Exp.	Características
10	Posición + Longitud + Relación con el título + Legibilidad + Cohesión + WSS
11	Posición + Longitud + Relación con el título + Legibilidad + Cohesión + Cobertura
12	Posición + Longitud + Legibilidad + Cohesión
13	Posición + Longitud + Legibilidad + Cobertura
14	Posición + Longitud + Relación con el título + Cohesión
15	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura
16	Posición + Longitud + Cohesión
17	Posición + Longitud + Cobertura
18	Posición + Longitud + Cobertura + Cohesión
19	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión
20	Posición + Longitud + Relación con el título

**Tabla 72.** Configuración de la FO para el segundo bloque de experimentos

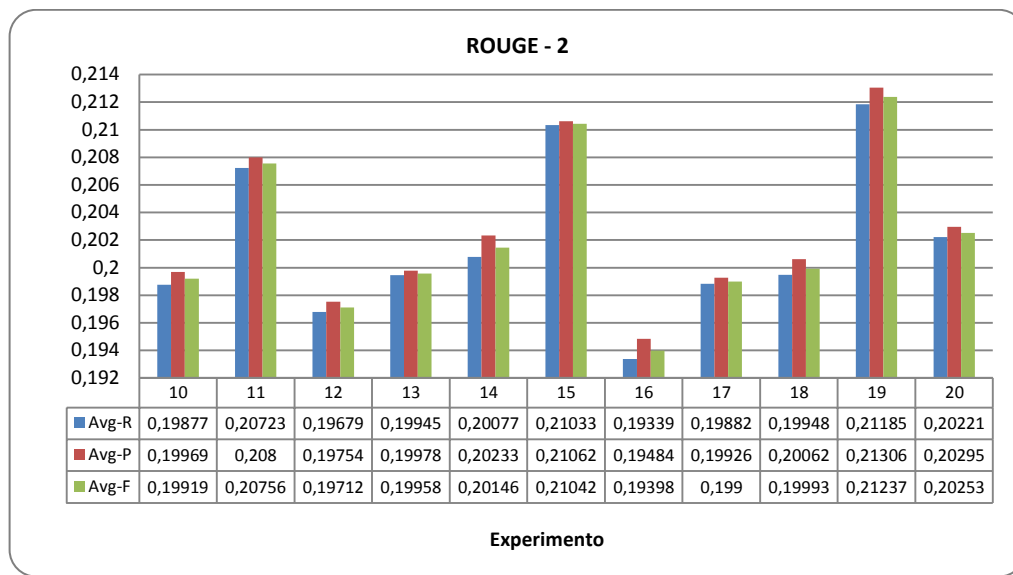
Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>10</b>	0,44813	0,45009	0,44900	0,19877	0,19969	0,19919	0,21760	0,21863	0,21806
<b>11</b>	0,45618	0,45760	0,45677	0,20723	0,20800	0,20756	0,22637	0,22730	0,22678
<b>12</b>	0,44906	0,45062	0,44973	0,19679	0,19754	0,19712	0,21768	0,21858	0,21807
<b>13</b>	0,45335	0,45376	0,45346	0,19945	0,19978	0,19958	0,22156	0,22194	0,22171
<b>14</b>	0,44939	0,45286	0,45092	0,20077	0,20233	0,20146	0,21743	0,21920	0,21822
<b>15</b>	<b>0,46157</b>	<b>0,46197</b>	0,46164	0,21033	0,21062	0,21042	<b>0,22808</b>	<b>0,22849</b>	<b>0,22823</b>
<b>16</b>	0,44672	0,45067	0,44836	0,19339	0,19484	0,19398	0,21198	0,21380	0,21273
<b>17</b>	0,45351	0,45416	0,45373	0,19882	0,19926	0,19900	0,22001	0,22049	0,22020
<b>18</b>	0,45283	0,45464	0,45351	0,19948	0,20062	0,19993	0,21975	0,22103	0,22026
<b>19</b>	0,46081	0,46355	<b>0,46200</b>	<b>0,21185</b>	<b>0,21306</b>	<b>0,21237</b>	0,22717	0,22863	0,22781
<b>20</b>	0,45514	0,45667	0,45577	0,20221	0,20295	0,20253	0,22086	0,22174	0,22124

**Tabla 73.** Resultados obtenidos para el segundo bloque de experimentos

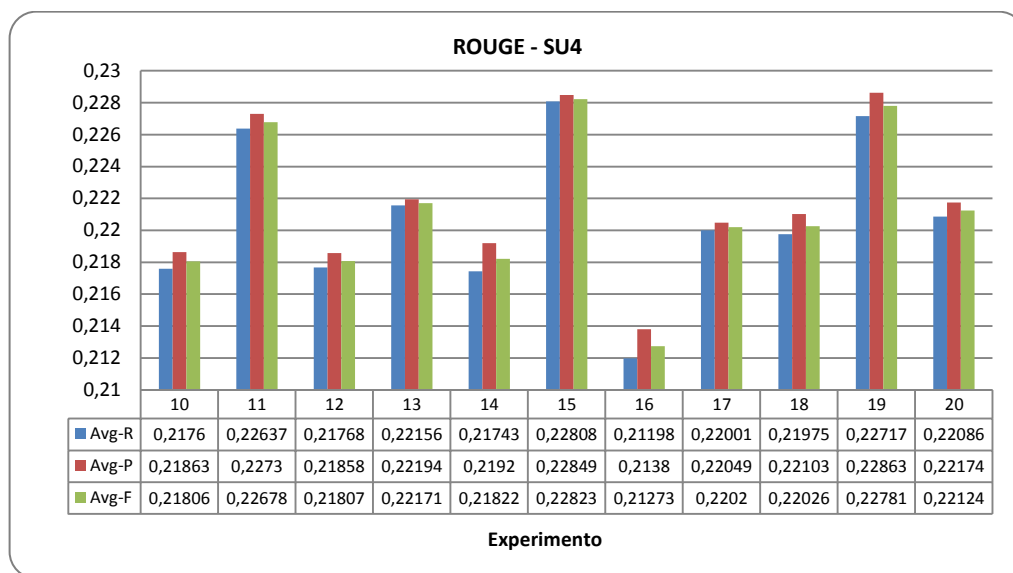
Las Figuras 231, 232 y 233 muestran graficados los resultados anteriores de acuerdo a las medidas de ROUGE 1, 2 y SU4, para facilitar su análisis.



**Figura 231.** Segundo bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1



**Figura 232.** Segundo bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2

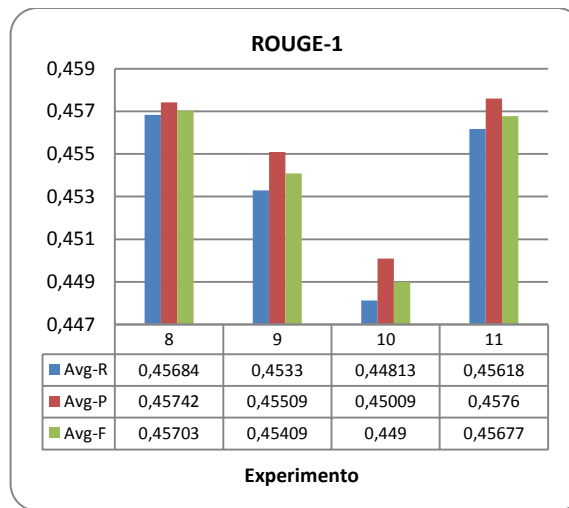


**Figura 233.** Segundo bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4

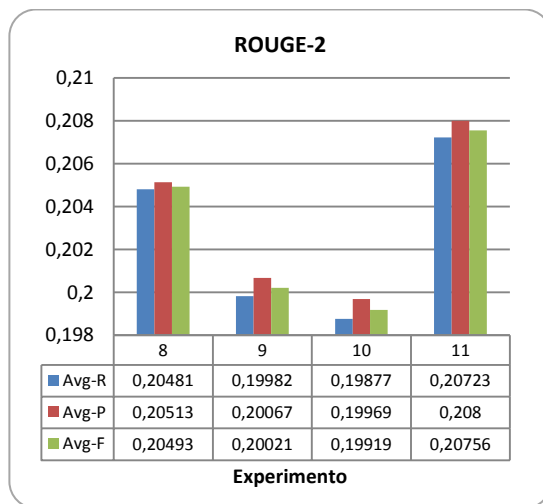
De acuerdo a los resultados obtenidos, al revisar los experimentos del 8 al 11, se observa que el desempeño del factor de *Cobertura a nivel de términos WSS* (Exp. 9 y 10) en asociación con otras características es menor frente a la *Cobertura a nivel de oraciones* (Exp. 8 y 11), por lo cual se elimina por completo la utilización del factor WSS dentro los experimentos subsecuentes y se resuelve seguir experimentando con la *Cobertura a nivel de oraciones*, que de aquí en adelante será referida simplemente como *Cobertura*<sup>17</sup>. En

<sup>17</sup> A menos que surja la necesidad de distinguir entre ella y el Factor de Cobertura WSS.

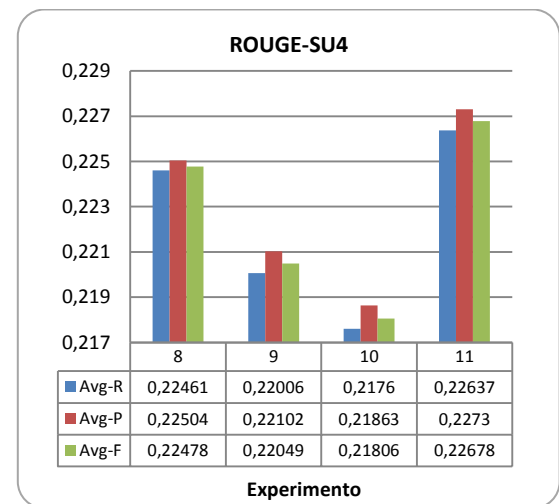
las Figuras 234, 235 y 236 se aprecia el comportamiento de los experimentos del 8 al 11, para un análisis más detallado.



**Figura 234.** Experimentos 8, 9,10 y 11, ROUGE-1



**Figura 235.** Experimentos 8, 9,10 y 11, ROUGE-2



**Figura 236.** Experimentos 8, 9,10 y 11, ROUGE-SU4

Como se puede observar, los que presentan una uniformidad<sup>18</sup> aceptable en las tres medidas de ROUGE son aquellos que consideran la *Cobertura* (Exp. 8 y 11). Adicionalmente, se revela también que el factor añadido de *Relación con el título* se desenvuelve mucho mejor con el factor de *Cobertura a nivel de oraciones* que con el factor de *Cobertura WSS*, lo cual ratifica la exclusión de esta última característica y advierte que el comportamiento de la *Relación con el título* depende en gran medida del

<sup>18</sup> La uniformidad o balance, se refiere a la relación entre los valores de precisión, recuerdo y medida-F de una medida de ROUGE.

grupo de características con las que deba acoplarse. Así mismo, a partir del Experimento 11, puede distinguirse que la *Relación con el título* en asociación con la *Cobertura*, entre otras características, presenta un comportamiento muy cercano al reflejado en el Experimento 2, conformado únicamente por la *Relación con el título*, llegando a superarlo en dos medidas (R2 y RSU4) y acercándose mucho en la otra (R1). Este aspecto motiva la decisión de continuar la indagación sobre el comportamiento de esta característica en unión con otras. De esta forma, los experimentos 12 al 15, buscan la diferenciación en el comportamiento entre *Legibilidad* y *Relación con el título*. Así, de acuerdo a los resultados se observa que en las tres medidas de ROUGE, sobresalen los experimentos en los que se consideró la *Relación con el título*, por lo que se deduce que este factor es más favorable que la *Legibilidad* en la evaluación de los resúmenes.

Por otro lado, a partir de los experimentos 12 al 15, se definieron otras dos funciones objetivo, evaluadas en los experimentos 16 y 17, cuya configuración suprime los factores de *Legibilidad* y *Relación con el título*. La finalidad de este par de experimentos es investigar más a fondo el comportamiento presentado por la *Cobertura* y la *Cohesión* y verificar si el desempeño de los experimentos anteriores no depende especialmente de las dos características eliminadas. En las Figuras 231, 232 y 233, se evidencia que el comportamiento de las configuraciones es mucho menos favorable sin los factores de *Relación con el título* y *Legibilidad*, sin embargo, la correlación entre los experimentos que incluyen *Cobertura* y los que incluyen *Cohesión* sigue siendo la misma, es decir, que aquellos experimentos que consideran la *Cobertura* (Exp. 13, 15 y 17) presentan siempre resultados más altos que aquellos que consideran la *Cohesión* (Exp. 12, 14 y 16). Así mismo, se observa que el aporte a los resultados por parte del factor de *Relación con el título* es mayor que el de la *Legibilidad*, lo que ratifica, aún más, el buen desempeño del factor de *Relación con el título* en unificación con otras características.

Hasta el momento los resultados revelan varios aspectos, el primero de ellos es que la *Cohesión* y la *Cobertura* parecen ser factores realmente útiles en la evaluación de resúmenes automáticos, sin embargo, la *Cobertura* parece ofrecer más bondad que la *Cohesión*. El segundo aspecto tiene que ver con la *Relación con el título*, la cual ofrece un mejor comportamiento que la *Legibilidad*, y además mejora su desempeño al combinarse con otras características, entendiéndose muy bien con el factor de *Cobertura*, particularmente.

Así pues, partiendo del Experimento 15, como el más destacado hasta el momento, se decidió ejecutar tres experimentaciones adicionales realizando variaciones a esta propuesta, para verificar el comportamiento de las características de *Relación con el título*, *Cobertura* y *Cohesión*. La primera variación consiste en la sustitución del factor de *Relación con el título* por el factor de *Cohesión* y corresponde al Experimento 18; la segunda consta de la adición del factor de *Cohesión* dentro de la función objetivo y es el Experimento 19; y la tercera se basa en la exclusión de la *Cobertura* y se entiende como el Experimento 20. Conforme a los resultados obtenidos, el Experimento 19 es el más destacado, y, comparado con el Experimento 15, presenta mejores valores de precisión y medida-F en R1, mientras que en R2 lo supera en precisión, recuerdo y medida-F, y en RSU4 sólo es mejor en el valor de precisión. Así mismo, al revisar el desempeño del Experimento 18, con respecto al 17, se observa que sufre un incremento en las medidas de R2 y que los valores de R1 y RSU4 disminuyen en algunas medidas. Adicionalmente, al estudiar los experimentos 15, 17, 18 y 19 se observa que el aditamento del factor de

Cohesión a la función objetivo (Exp. 18 y 19), aunque pueda introducir una pequeña mejora, conlleva una reducción en la uniformidad de los valores de precisión, recuerdo y medida-F en los resultados, a diferencia de los experimentos que no consideraron *Cohesión* (Exp. 15 y 17). Por otro parte, con base en los resultados de los experimentos 15 y 20, y de acuerdo al análisis anterior, se reafirma la importancia de considerar la *Cobertura* en la evaluación de resúmenes, pues al excluirla en la definición de la función objetivo (Exp. 20), se aprecia claramente el efecto negativo sobre los resultados.

### 2.1.3 Tercer Bloque de Experimentos

El tercer bloque de experimentos busca mejorar el desempeño de la función objetivo adicionando nuevas características, en ese sentido, se decide estudiar su comportamiento, al considerar un cálculo del factor de *Cohesión* diferente al trabajado hasta el momento, que será referido como *Cohesión1*. De este modo, este nuevo cálculo se adiciona a algunos experimentos cuyos resultados se destacaron en el bloque anterior. De otro lado, de acuerdo a los resultados obtenidos en el bloque dos, se decide realizar un experimento adicional a partir de la configuración del Experimento 19. De esta forma, se escogen aleatoriamente dos de las características de esa estructura para ser reemplazadas por otra de las estudiadas hasta el momento, seleccionada también al azar. Así entonces, se excluyen de la configuración las características de *Posición* y *Longitud* y se adiciona la *Legibilidad*. La finalidad de dicho experimento es verificar el rumbo actual de las experimentaciones y comprobar si existe otra ruta posible para el diseño de la función objetivo. Entre los experimentos mencionados, aquel que de mejor resultado, se evaluará con un nuevo cálculo para el factor de *Posición* al que se denominó, *Posición basada en Wan* [55]. En la Tabla 74, se listan los experimentos que comprende este bloque y en la Tabla 75 los resultados respectivos.

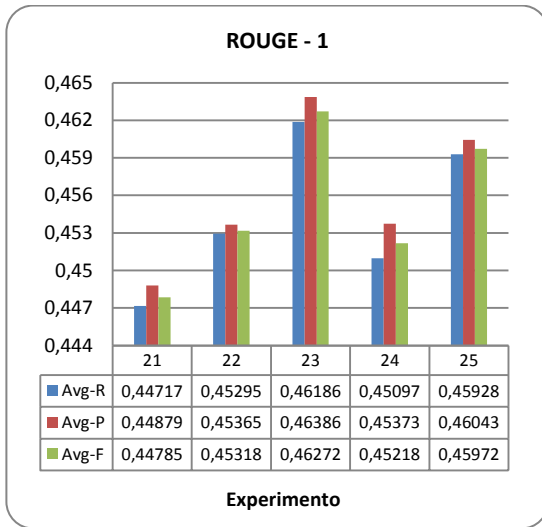
Exp.	Características
21	Legibilidad + Relación con el título + Cobertura + Cohesión
22	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Legibilidad + Cohesión1
23	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión1
24	Posición + Longitud + Relación con el título + Cohesión1
25	Posición basada en Wan + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión1

**Tabla 74.** Configuración de la FO para el tercer bloque de experimentos

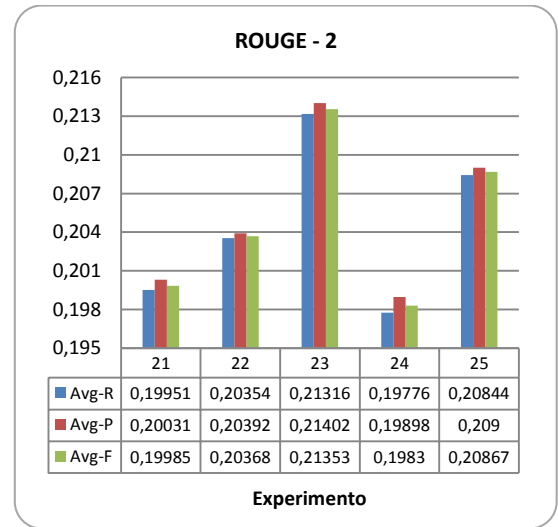
Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
21	0,44717	0,44879	0,44785	0,19951	0,20031	0,19985	0,21946	0,22041	0,21987
22	0,45295	0,45365	0,45318	0,20354	0,20392	0,20368	0,22217	0,22265	0,22235
23	<b>0,46175</b>	<b>0,46285</b>	<b>0,46217</b>	<b>0,21063</b>	<b>0,21110</b>	<b>0,21081</b>	<b>0,22835</b>	<b>0,22901</b>	<b>0,22862</b>
24	0,45097	0,45373	0,45218	0,19776	0,19898	0,19830	0,21738	0,21884	0,21803
25	0,45928	0,46043	0,45972	0,20844	0,20900	0,20867	0,22665	0,22446	0,22410

**Tabla 75.** Resultados obtenidos para el tercer bloque de experimentos

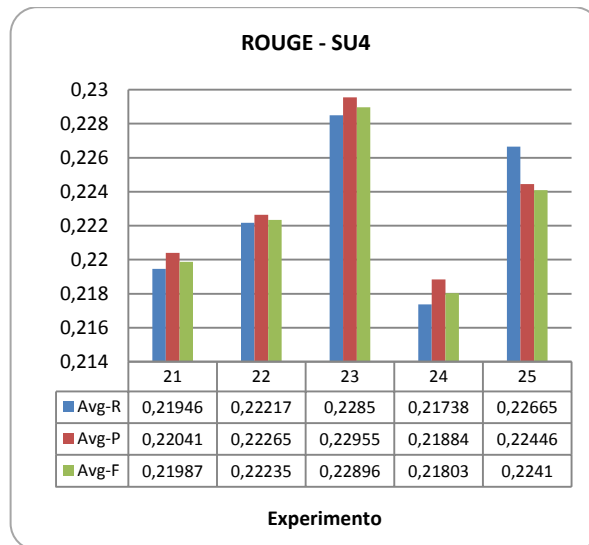
Estos resultados se encuentran graficados en las Figuras 237, 238 y 239.



**Figura 237.** Tercer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1



**Figura 238.** Tercer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2



**Figura 239.** Tercer bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4

Según los datos obtenidos, el experimento 21 revela que la configuración correspondiente no es nada bondadosa, pues los resultados sufren un decremento considerable en todas las medidas de ROUGE. Así mismo, se aprecia que la configuración del Experimento 23, la cual considera la característica de *Cohesión1*, presenta el mejor comportamiento de este grupo. Por su parte, el Experimento 25, que incluye el cálculo de *Posición basada en Wan*, obtuvo valores más bajos que el Experimento 23 y en la medida de RSU4 se aprecia una muy baja uniformidad en los valores de recuerdo, precisión y medida-F.

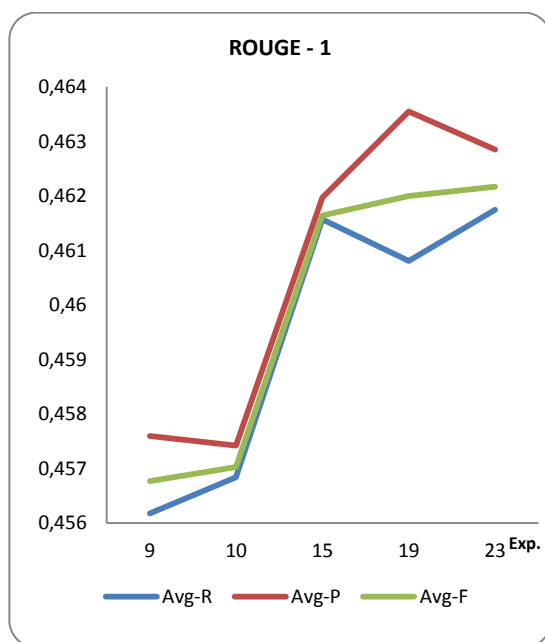


En la Tabla 76 se recopiló la información de las cinco mejores configuraciones obtenidas hasta el momento en los tres bloques de experimentos ejecutados, para proceder con el análisis respectivo.

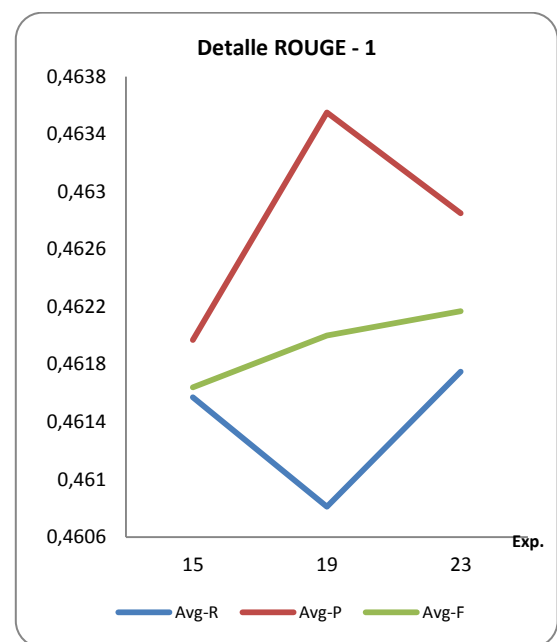
Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>9</b>	0,45618	0,4576	0,45677	0,20723	0,208	0,20756	0,22637	0,2273	0,22678
<b>10</b>	0,45684	0,45742	0,45703	0,20481	0,20513	0,20493	0,22461	0,22504	0,22478
<b>15</b>	0,46157	0,46197	0,46164	0,21033	0,21062	0,21042	0,22808	0,22849	0,22823
<b>19</b>	0,46081	<b>0,46355</b>	0,462	<b>0,21185</b>	<b>0,21306</b>	<b>0,21237</b>	0,22717	0,22863	0,22781
<b>23</b>	<b>0,46175</b>	0,46285	<b>0,46217</b>	0,21063	0,2111	0,21081	<b>0,22835</b>	<b>0,22901</b>	<b>0,22862</b>

**Tabla 76.** Resultados obtenidos de los cinco mejores experimentos de la primera etapa para definir la FO

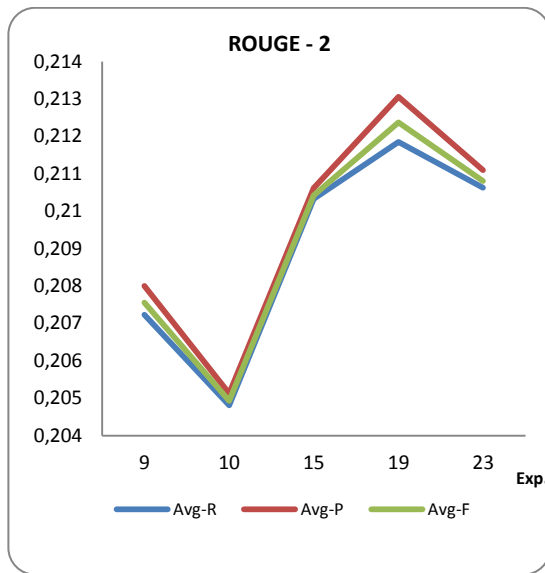
En las Figuras 240, 242 y 243 se muestran las gráficas de las medidas de Rouge para estos resultados.



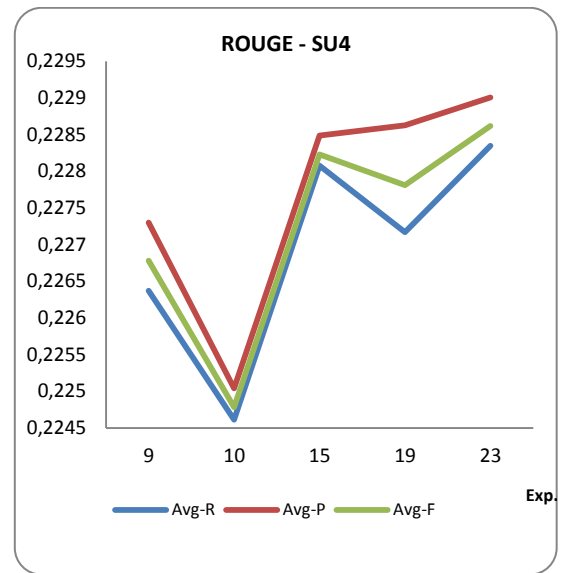
**Figura 240.** Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, ROUGE-1



**Figura 241.** Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, detalle ROUGE-1



**Figura 242.** Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, ROUGE-2



**Figura 243.** Cinco mejores experimentos de la primera etapa de diseño de la FO, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados de R1 de la Figura 240, el Experimento 23 se destaca en los valores de recuerdo y medida-F. Con el fin de analizar mejor el desempeño, en la Figura 241, se muestra con más detalle los tres experimentos con resultados más altos en esta medida. En apariencia, el mejor comportamiento lo presenta el Experimento 19, sin embargo, aunque se destaca en precisión, sacrifica bastante el recuerdo, y el comportamiento de las tres medidas es muy poco uniforme. Por otro lado, el Experimento 15 muestra un comportamiento que se puede considerar altamente balanceado, pero con valores más bajos con respecto a los otros dos experimentos. Así que entre estos tres, se puede considerar que el Experimento 23 es el más conveniente para esta medida de ROUGE, pues presenta un balance medio y se destaca en dos medidas. En la Figura 242 se muestran los datos arrojados por los cinco experimentos en la medida R2. Ahí se observa que, nuevamente, los experimentos que sobresalen son el 15, 19 y 23. Los Experimentos 15 y 23 presentan un comportamiento de alta uniformidad en las tres medidas, destacándose el 23, sin embargo, es muy claro que los mejores resultados, para esta medida, los ofrece el Experimento 19, que tiene una uniformidad aceptable. Los resultados de RSU4 se presentan en la Figura 243, donde, de nuevo, se manifiesta el buen comportamiento de los experimentos 15, 19 y 23, siendo el más uniforme el 15 y el menos uniforme el 19. Así mismo, el Experimento 23 tiene un grado de uniformidad medio y, para esta medida, evidencia los mejores resultados de este conjunto de experimentos.

De acuerdo al análisis anterior, se concluye que el experimento que mejor comportamiento tiene en las medidas de ROUGE es el 23, cuya función objetivo está definida como se ve en la Ecuación (3).

$$f(x) = \text{Posición} + \text{Longitud} + \text{Relación con el título} + \text{Cobertura} + \text{Cohesión1} \quad (3)$$

## 2.2 SEGUNDA ETAPA DE CONFIGURACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

En la segunda etapa de definición de la función objetivo, se continuó realizando dos bloques de experimentos más.

### 2.2.1 Cuarto Bloque de Experimentos

El cuarto bloque de experimentos, se ejecutó con el fin de analizar el desempeño, con todo el conjunto de documentos, de las cinco mejores configuraciones de la función objetivo obtenidas en la primera etapa, incluyendo, además, como punto de referencia, la configuración preliminar de la función objetivo (Exp. 9 de la primera etapa). Las configuraciones y resultados de estos experimentos se encuentran en la Tabla 77 y Tabla 78, respectivamente.

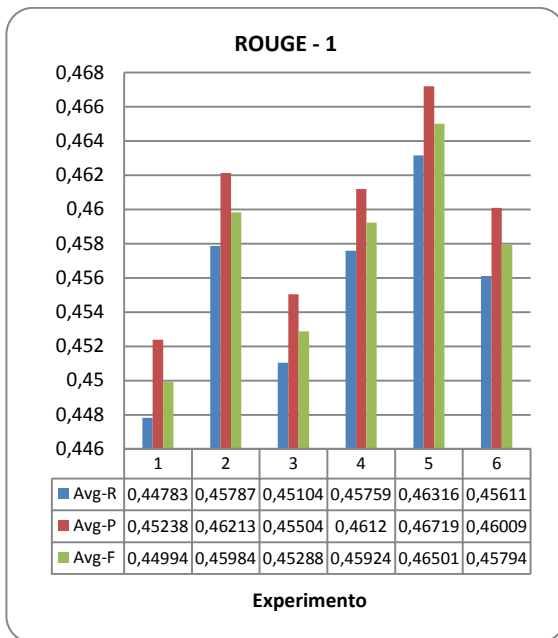
Exp. Etapa 2	Exp. Etapa 1	Características
1	9	Posición + Longitud + Cohesión + Legibilidad + WSS
2	11	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión + Legibilidad
3	8	Posición + Longitud + Cobertura + Cohesión + Legibilidad
4	15	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura
5	19	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión
6	23	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión1

**Tabla 77.** Configuración de la FO para el cuarto bloque de experimentos

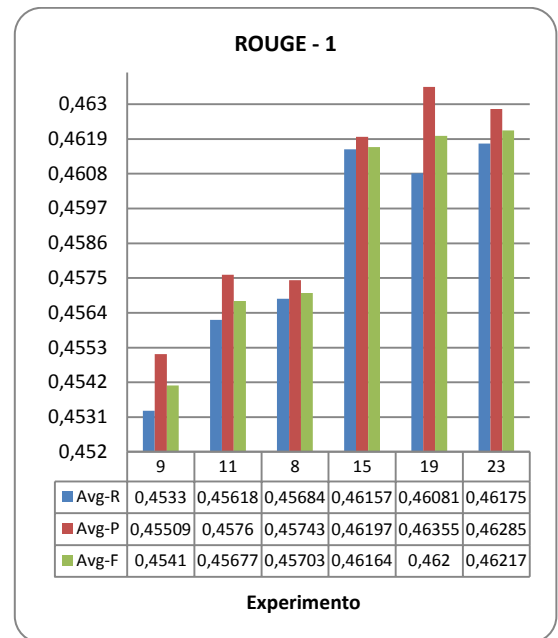
Exp	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	0,44782	0,45237	0,44994	0,18941	0,19122	0,19025	0,21153	0,21363	0,21251
2	0,45787	0,46213	0,45984	0,20158	0,20339	0,20242	0,22203	0,22408	0,22298
3	0,45104	0,45504	0,45288	0,19359	0,19513	0,19429	0,21515	0,21698	0,21599
4	0,45759	0,46120	0,45924	0,19728	0,19866	0,19790	0,21861	0,22024	0,21935
5	<b>0,46316</b>	<b>0,467194</b>	<b>0,46501</b>	<b>0,20433</b>	<b>0,20594</b>	<b>0,20506</b>	<b>0,22462</b>	<b>0,22650</b>	<b>0,22548</b>
6	0,45611	0,46009	0,45794	0,19529	0,19687	0,19601	0,21710	0,21893	0,21794

**Tabla 78.** Resultados obtenidos para el cuarto bloque de experimentos

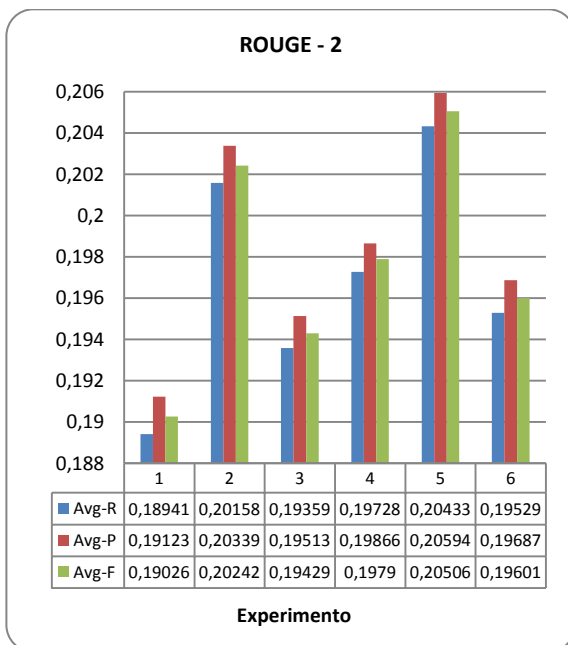
En las Figuras 244, 246 y 248 se muestran gráficamente los resultados para las tres medidas de ROUGE de la Tabla 78. Adicionalmente, se presentan gráficamente los resultados de los experimentos originales de la primera etapa para facilitar el análisis comparativo (Figuras 245, 247 y 249).



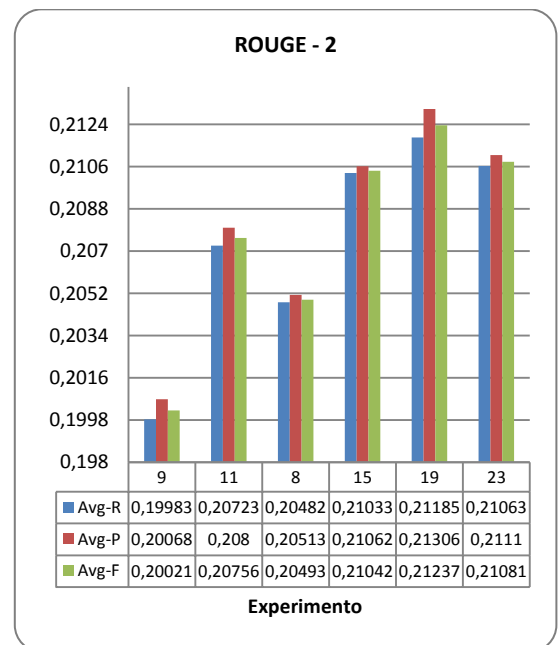
**Figura 244.** Cuarto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1



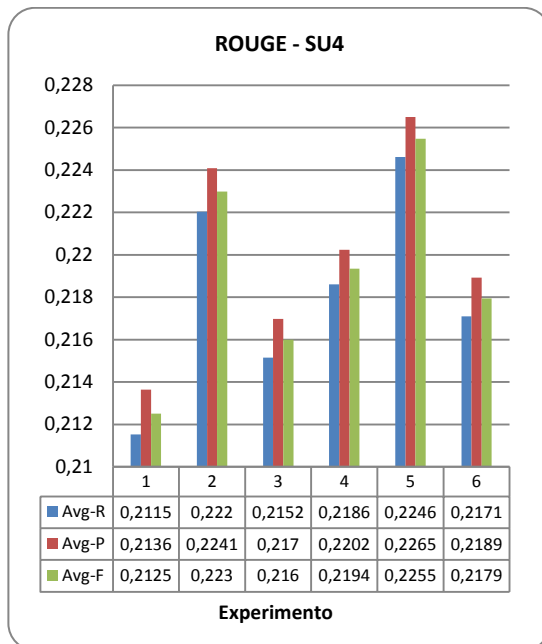
**Figura 245.** Experimentos originales de la primera etapa, ROUGE-1



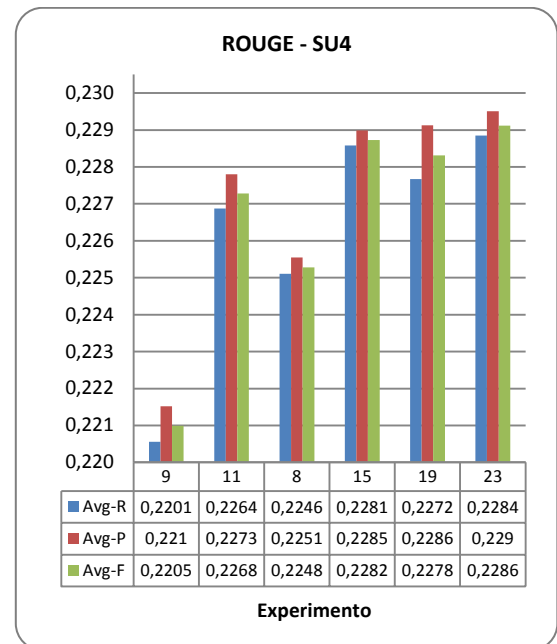
**Figura 246.** Cuarto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2



**Figura 247.** Experimentos originales de la primera etapa, ROUGE-2



**Figura 248.** Cuarto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4



**Figura 249.** Experimentos originales de la primera etapa, ROUGE-SU4

Según los datos presentados, se percibe que el desempeño de los cinco experimentos varía un poco de una etapa a otra, es decir, que el desempeño de estas configuraciones es un poco diferente al trabajar con todo el conjunto de documentos. Uno de los aspectos más notables de este cambio se advierte en la uniformidad en los resultados de cada medida; en esta segunda etapa, los cinco experimentos muestran un nivel de uniformidad muy similar, lo que no ocurría en la primera etapa. Por otro lado, aunque los datos no sean exactamente iguales, el comportamiento en R1 y R2 es muy similar al de la etapa anterior en los cinco experimentos; en discordancia, RSU4 presenta un desempeño bastante diferente al de la etapa uno, siendo más visible en los tres últimos experimentos.

Otro punto importante que se contempla en las gráficas anteriores, es que el experimento más destacado en las tres medidas de ROUGE es el 5, correspondiente al 19 de la primera etapa. Por otro parte, al igual que ocurrió en la etapa anterior, y como era de esperar, los cinco experimentos presentaron un desempeño mucho mejor que el Experimento 1 (correspondiente al 9 de la etapa uno), compuesto por la función objetivo preliminar.

## 2.2.2 Quinto Bloque de Experimentos

Partiendo del análisis anterior, se observa que con las mismas configuraciones de experimentos evaluadas con diferentes conjuntos de documentos de la misma colección, los resultados obtenidos varían. De esta manera, se presume que el comportamiento de la función objetivo depende, en gran parte, del conjunto de documentos evaluados. En ese sentido, se optó por evaluar el quinto bloque de experimentos, con el fin de investigar

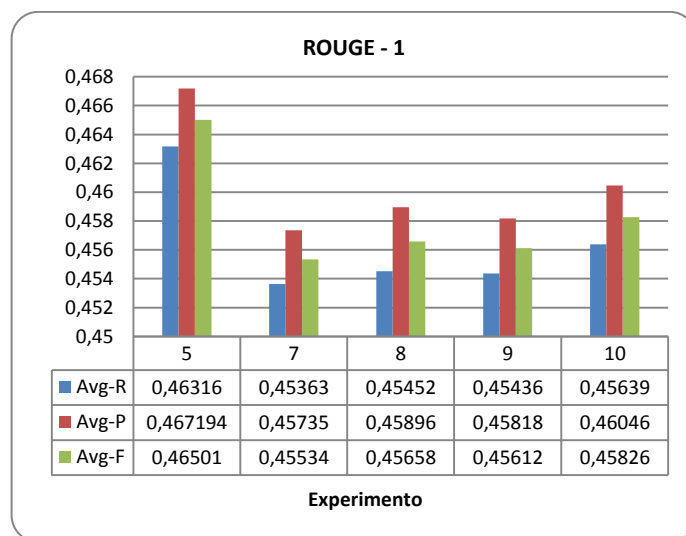
si es posible encontrar una configuración aún mejor. En este bloque, se toma, en forma aleatoria, una de las configuraciones realizadas en la primera etapa. Así pues, se configura en esta etapa el Experimento 7 como el Experimento 22 de la primera etapa. Adicionalmente, se crean dos experimentos más (Exp. 9 y 10) que corresponden a pequeñas modificaciones al Experimento 7, como el cambio en el cálculo de *Posición* y la exclusión de la *Legibilidad*. Finalmente, se diseña una función objetivo que incluya las dos características con mejor desempeño individual en la primera etapa, es decir, la *Posición* y la *Relación con el título* (Exp. 8). Las configuraciones y resultados se muestran en las Tablas 79 y 80, respectivamente. Las Figuras 250, 251 y 252 muestran los resultados obtenidos.

Exp.	Características
5	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión
7	Posición + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Legibilidad + Cohesión1
8	Posición + Relación con el título
9	Posición basada en Wan + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Legibilidad + Cohesión1
10	Posición basada en Wan + Longitud + Relación con el título + Cobertura + Cohesión1

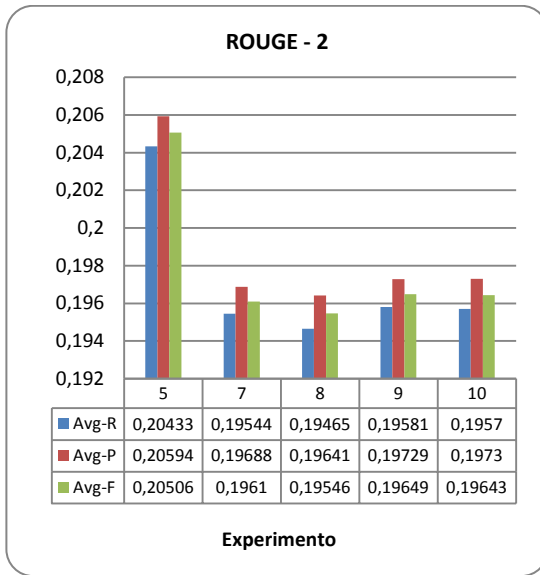
**Tabla 79.** Configuración de la FO para el quinto bloque de experimentos

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
5	0,46316	0,467194	0,46501	0,20433	0,20594	0,20506	0,22462	0,22650	0,22548
7	0,45363	0,45735	0,45534	0,19544	0,19688	0,19610	0,21686	0,21856	0,21763
8	0,45452	0,45896	0,45658	0,19465	0,19641	0,19546	0,21657	0,21863	0,21752
9	0,45436	0,45818	0,45612	0,19581	0,19729	0,19649	0,21726	0,21901	0,21806
10	0,45639	0,46046	0,45826	0,19570	0,19730	0,19643	0,21755	0,21943	0,21841

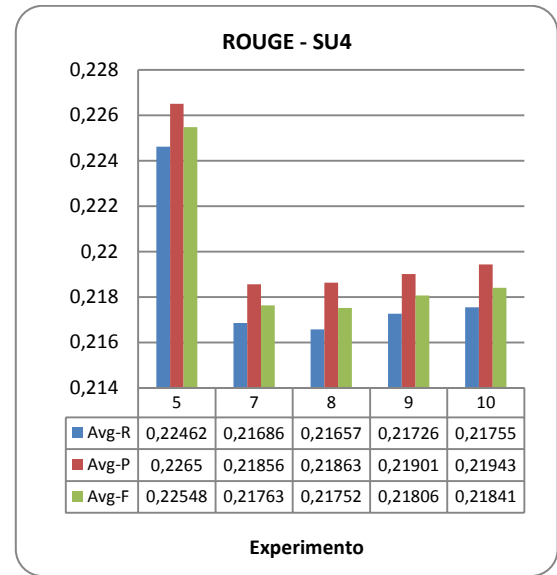
**Tabla 80.** Resultados obtenidos para el quinto bloque de experimentos



**Figura 250.** Quinto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-1



**Figura 251.** Quinto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-2



**Figura 252.** Quinto bloque de experimentos de diseño de la FO, ROUGE-SU4

Como se aprecia en las gráficas anteriores, ninguno de los experimentos evaluados en este bloque arrojó resultados que superaran los obtenidos en el Experimento 5, por lo tanto, se concluye que la configuración de la función objetivo con mejor desempeño corresponde a la presentada en la Ecuación (4), con su correspondiente fórmula matemática en la Ecuación (5).

$$f(x) = Posición + Longitud + Relación con el título + Cohesión + Cobertura \quad (4)$$

$$f(x) = \sum_{i=1}^n \left[ \sqrt{\frac{1}{n_i}} + \frac{1 - e^{-\frac{l(s_i) - \mu(l(s_i))}{std(l(s_i))}}}{1 + e^{-\frac{l(s_i) - \mu(l(s_i))}{std(l(s_i))}}} + \frac{sim(s_i, t)}{L * \text{máximo}_{\forall \text{ resumen } TR}} \right] + \frac{\log(C * 9 + 1)}{\log(M * 9 + 1)} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n [sim(\vec{D}_i, \vec{s}_i) + sim(\vec{D}_j, \vec{s}_j)] \quad (5)$$

Tras examinar todo el proceso que llevó a definir la función objetivo final, se observa que gran parte de las configuraciones con mejor resultado incluyen características como la *Posición*, *Relación con el título* y *Cohesión*. Debido al tipo de datos con los que se está trabajando, estos resultados confirman investigaciones previas del estado del arte [55-58], en las cuales, el uso de estas tres características brinda resultados muy favorables en la creación de resúmenes y, en forma particular, la *Posición* y la *Relación Con El Título* son determinantes en la evaluación de resúmenes automáticos de noticias.

***ANEXO E - AFINACIÓN Y EVALUACIÓN  
ADICIONAL DE CRITERIOS DE SELECCIÓN  
DE ORACIONES***

---



## 1 CONFIGURACIÓN PRELIMINAR DE PARÁMETROS

Para iniciar los ciclos experimentales de esta investigación, fue preciso establecer un conjunto de valores preliminares de los parámetros del algoritmo memético, los cuales fueron definidos considerando las sugerencias presentadas en la literatura sobre el diseño de algoritmos evolutivos [1, 2, 12, 13, 24, 59], sin embargo, todas ellas concluyen que dichos valores dependen del problema, por lo que los valores se establecieron tratando de que estuvieran dentro de un rango apropiado para las características del problema abordado en esta investigación, de la siguiente forma:

- Tamaño de la población, se recomienda definir un valor que permita la exploración del espacio de búsqueda, sin que sea tan grande que lleve a la degeneración en la eficiencia del algoritmo de tal forma que ninguna solución pueda ser alcanzada en un tiempo razonable [12]. Dicha premisa, según Reeves [60], puede ser satisfecha si hay al menos una instancia del alfabeto considerado (0 o 1, para el alfabeto binario) en cada gen en la población completa de individuos. Reeves expone el cálculo de la probabilidad  $P_q^*$  de que al menos un alelo esté presente en cada gen de la población inicial, la cual para un alfabeto binario, se define como en la Ecuación (11).

$$P_2^* = (1 - (1/2)^{M-1})^L \quad (11)$$

Donde, M es el tamaño de la población inicial y L es el tamaño de un cromosoma. En ese sentido, teniendo en cuenta que el tamaño medio de los cromosomas de los agentes en esta investigación es de 27 (cantidad media de oraciones en los documentos evaluados), puede establecerse que para el tamaño de la población, un valor de 20 es adecuado, pues asegura que la probabilidad  $P_2^*$  exceda el 99.99%.

- Elitismo, hace referencia a los agentes que pasan a la siguiente generación, estos valores se definieron pequeños, teniendo en cuenta el tamaño de la población seleccionado, esto para evitar la predominancia de los agentes más aptos.
- Probabilidad de mutación, teniendo en cuenta las recomendaciones de la literatura [9, 23, 24], se definió un valor pequeño.
- Número de optimizaciones, indica la profundidad o intensidad de la búsqueda local, un valor pequeño se definió en este parámetro, de acuerdo al tamaño de población y con el fin de evitar el aumento del costo computacional de valores de profundidad muy altos [59].
- Máxima longitud a evaluar del documento, este parámetro permite que durante el proceso de evolución del algoritmo se exceda la cantidad de frases que pueden ser incluidas en un agente, con el objetivo de realizar una mejor exploración del espacio de búsqueda. Sin embargo, cuando se termina el proceso de evolución (condición de parada del algoritmo) se valida que la cantidad de palabras que conforman el resumen final sea de 100 palabra, para cumplir con la restricción del problema. Este parámetro se definió en 150, un valor superior en 50 palabras a la longitud del resumen.

En la Tabla 81 se lista la configuración preliminar de estos parámetros, junto a la abreviatura de cada uno, que será utilizada a lo largo de este anexo.

Parámetro	Sigla	Valor
<i>Tamaño de la población</i>	<i>TP</i>	20
<i>Cantidad de agentes elegidos por elitismo en generaciones</i>	<i>EG</i>	2
<i>Cantidad de agentes elegidos por elitismo en reiniciación</i>	<i>ER</i>	2
<i>Máxima longitud a evaluar de un documento</i>	<i>MLED</i>	150
<i>Probabilidad de mutación</i>	<i>PM</i>	0.4
<i>Número de optimizaciones</i>	<i>NOPT</i>	5

**Tabla 81.** Configuración preliminar de los parámetros del MA

## 2 AFINACIÓN DE PARÁMETROS DEL MA

Para realizar la afinación de los parámetros utilizados por el algoritmo memético, se utilizó la configuración obtenida en el ciclo de definición de los operadores reproductivos al igual que la función objetivo obtenida, también, en un ciclo anterior. Además, cabe señalar que para efectuar la afinación de un parámetro particular, se varía su valor conservando constantes los demás parámetros.

Por otro lado, teniendo en cuenta que la configuración final del algoritmo memético incluye el método de *Competencia restringida* como estrategia de reemplazo, el cual selecciona aleatoriamente una cantidad predefinida de agentes competidores establecida por un parámetro de *tamaño del grupo de competencia (TGC)*, se decidió realizar la afinación de ese parámetro, buscando la posibilidad de mejorar el desempeño del algoritmo.

En este proceso se utilizaron todos los conjuntos de documentos de DUC 2002.

### 2.1 AFINACIÓN DEL TAMAÑO DE LA POBLACIÓN

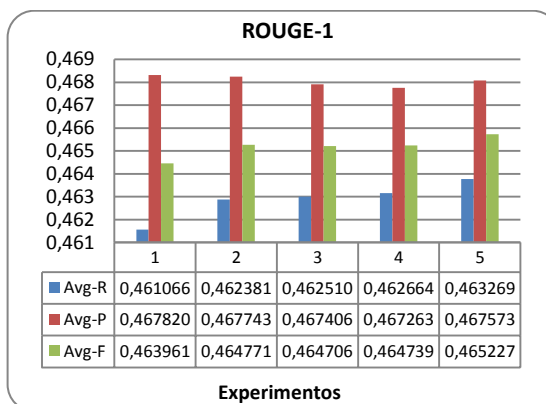
En este grupo, se evaluaron cinco tamaños de población diferentes como son 10, 15, 20, 25 y 30. La evaluación con más de 30 agentes no se realizó, teniendo en cuenta la premisa presentada anteriormente, ya que el tamaño de 30 es suficiente para asegurar que la probabilidad  $P_2^*$  exceda el 99.99%. Además, debido a que la cantidad de oraciones extraíbles de un solo documento es baja, el número de agentes diferentes que pueden crearse, y que cumplan con las restricciones de longitud del resumen, difícilmente logra supera dicho valor. En la Tabla 82 se listan los valores de los parámetros para cada experimento y en la Tabla 83 los resultados de las medidas de ROUGE respectivos. Adicionalmente, con el fin de facilitar el análisis de los resultados las Figuras 253, 254 y 255 muestran gráficamente las medidas de ROUGE para los experimentos del 1 al 3.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	MLED
1	10	5	2	2	4	150
2	15					
3	20					
4	25					
5	30					

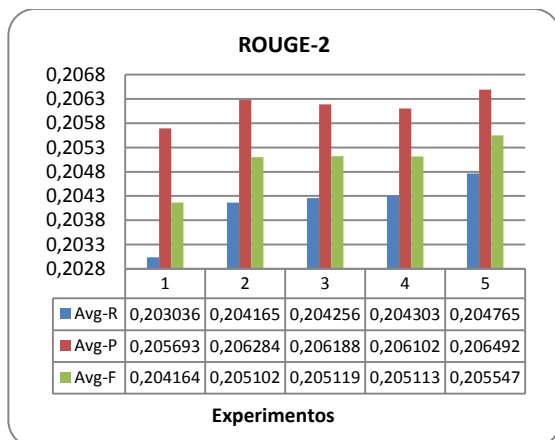
**Tabla 82.** Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de TP

Exp.	R1			R2			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	0,461066	<b>0,467820</b>	0,463961	0,203036	0,205693	0,204164	0,223850	0,227036	0,225197
2	0,462381	0,467743	0,464771	0,204165	0,206284	0,205102	0,224873	0,227382	0,225981
3	0,462510	0,467406	0,464706	0,204256	0,206188	0,205119	0,225002	0,227285	0,226020
4	0,462664	0,467263	0,464739	0,204303	0,206102	0,205113	0,224928	0,227043	0,225879
5	<b>0,463269</b>	0,467573	<b>0,465227</b>	<b>0,204765</b>	<b>0,206492</b>	<b>0,205547</b>	<b>0,225393</b>	<b>0,227402</b>	<b>0,226301</b>

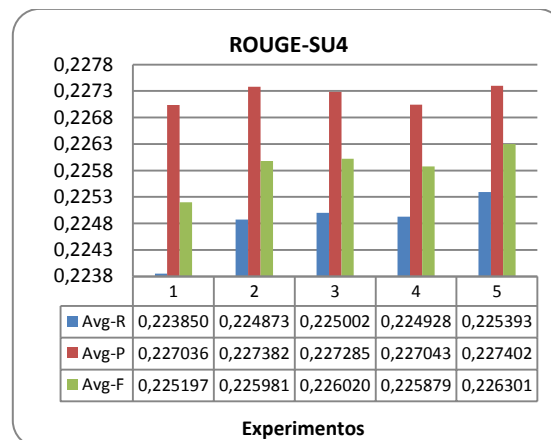
**Tabla 83.** Resultados de los experimentos de afinación de TP



**Figura 253.** Afinación del parámetro TP, ROUGE-1



**Figura 254.** Afinación del parámetro TP, ROUGE-2



**Figura 255.** Afinación del parámetro TP, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, se observa que el Experimento 5 ofrece los mejores valores en las tres medidas, con un tamaño de población de 30, lo cual indica que con ese valor puede realizarse un adecuado cubrimiento del espacio de búsqueda sin incrementar el costo computacional que se maneja hasta el momento.

## 2.2 AFINACIÓN DEL NÚMERO DE OPTIMIZACIONES

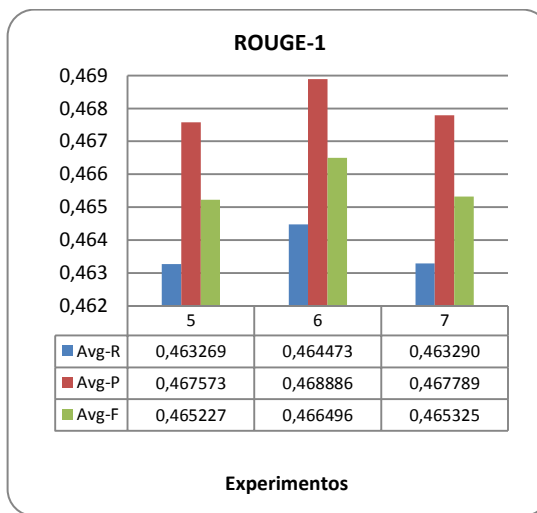
En este grupo, se utilizó el tamaño de la población 30, obtenido previamente. Los experimentos se definieron con dos valores adicionales para el parámetro evaluado, correspondientes a 3 y 4. En la Tabla 84 se listan los valores de los parámetros para cada experimento, y se incluye, además, el Experimento 5 del grupo anterior, donde se evalúan 5 optimizaciones, para que sea comparado con los nuevos valores. En la Tabla 85 se presentan los resultados de las medidas de ROUGE respectivos. Las Figuras 256, 257 y 258 muestran gráficamente los resultados de los experimentos de este grupo.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	MLED
5	30	5	2	2	4	150
6		3				
7		4				

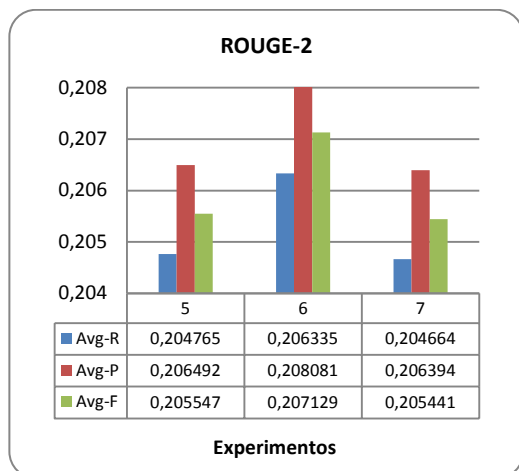
**Tabla 84.** Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de NOPT

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
5	0,463269	0,467573	0,465227	0,204765	0,206492	0,205547	0,225393	0,227402	0,226301
6	<b>0,464473</b>	<b>0,468886</b>	<b>0,466496</b>	<b>0,206335</b>	<b>0,208081</b>	<b>0,207129</b>	<b>0,226607</b>	<b>0,228658</b>	<b>0,227541</b>
7	0,463290	0,467789	0,465325	0,204664	0,206394	0,205441	0,225315	0,227368	0,226238

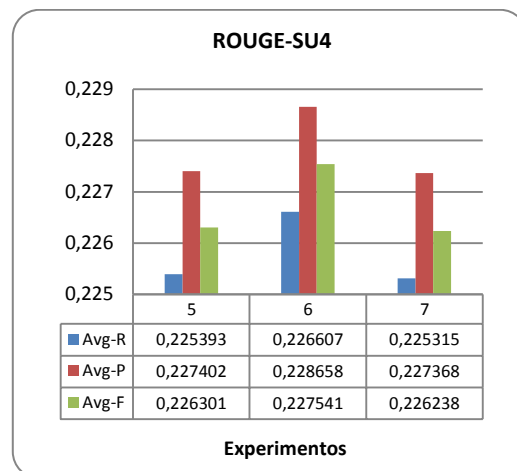
**Tabla 85.** Resultados de los experimentos de afinación de NOTP



**Figura 256.** Afinación del parámetro NOPT, ROUGE-1



**Figura 257.** Afinación del parámetro NOPT, ROUGE-2



**Figura 258.** Afinación del parámetro NOPT, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, el Experimento 6 presenta el mejor comportamiento en las tres medidas de ROUGE, y corresponde a utilizar 3 optimizaciones.

### 2.3 AFINACIÓN DEL VALOR PARA ELITISMO EN REINICIACIÓN

Para definir este grupo, se utilizaron los valores obtenidos anteriormente de 30 agentes como tamaño de población y 3 optimizaciones. Los experimentos se definieron con tres valores para el parámetro evaluado, como son 1, 3 y 4. En la Tabla 86 se listan los valores de los parámetros para cada experimento, y se adiciona el experimento 6 del grupo anterior, donde se evalúan 3 optimizaciones, para que sea comparado con los nuevos valores. En la Tabla 87 se presentan los resultados de las medidas de ROUGE respectivos. Las Figuras 259, 260 y 261 muestran gráficamente los resultados de los experimentos de este grupo.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	MLED
6	30	3	2	2	4	150
8			1			
9			3			
10			4			

**Tabla 86.** Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de ER

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
6	0,464473	0,468886	0,466496	0,206335	0,208081	0,207129	0,226607	0,228658	0,227541
8	<b>0,464520</b>	<b>0,468946</b>	<b>0,466548</b>	<b>0,206390</b>	<b>0,208141</b>	<b>0,207187</b>	<b>0,226632</b>	<b>0,228689</b>	<b>0,227569</b>
9	0,462218	0,467053	0,464370	0,204662	0,206511	0,205477	0,224759	0,226948	0,225728
10	0,462155	0,466989	0,464306	0,204596	0,206446	0,205412	0,224720	0,226906	0,225687

**Tabla 87.** Resultados de los experimentos de afinación de ER

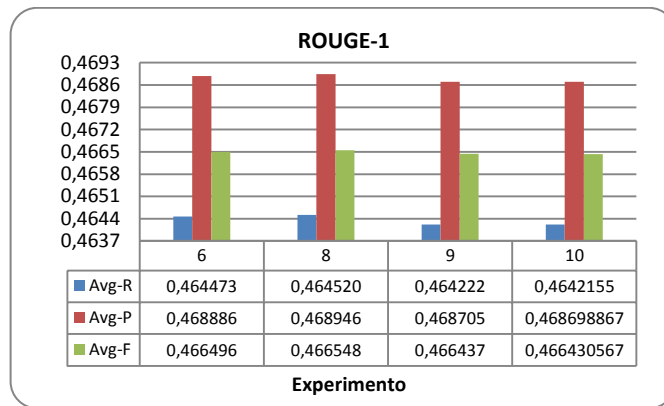


Figura 259. Afinación del parámetro ER, ROUGE-1

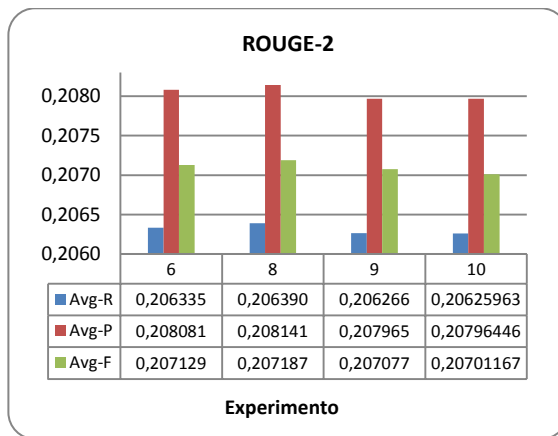


Figura 260. Afinación del parámetro ER, ROUGE-2

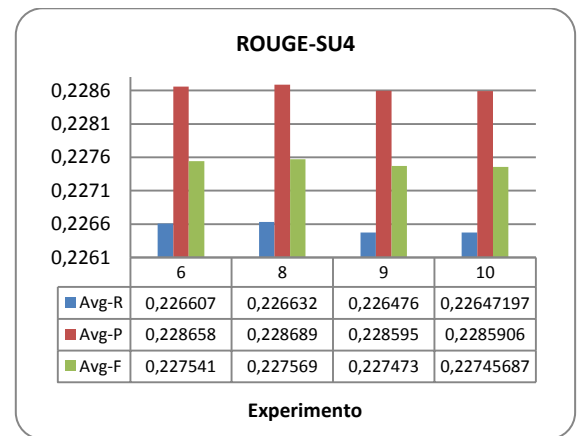


Figura 261. Afinación del parámetro ER, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, el Experimento 8 presenta el mejor comportamiento en las tres medidas de ROUGE, y corresponde a utilizar un valor de 1 para el parámetro de ER.

## 2.4 AFINACIÓN DEL VALOR PARA ELITISMO EN GENERACIÓN

En este grupo, se utilizaron los mejores valores de los parámetros establecidos hasta el momento y se definieron cuatro valores más para el parámetro en estudio de 1, 3, 4 y 5. En la Tabla 88 se listan los valores de los parámetros para cada experimento, y se adiciona el experimento 8 del grupo anterior, donde se maneja un elitismo en reiniciación de 1.

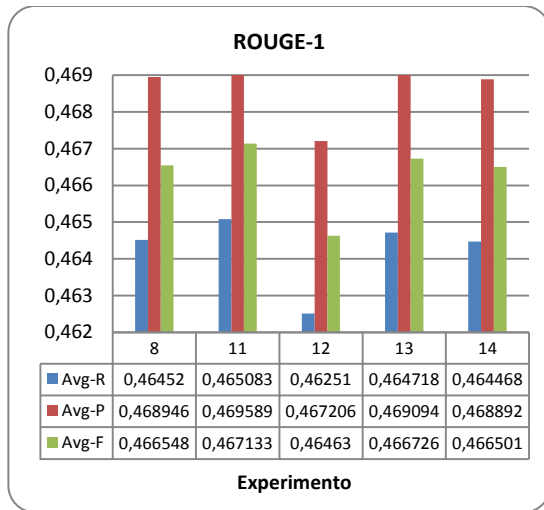
Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	MLED
8	30	3	1	2	4	150
11				1		
12				3		
13				4		
14				5		

Tabla 88. Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de EG

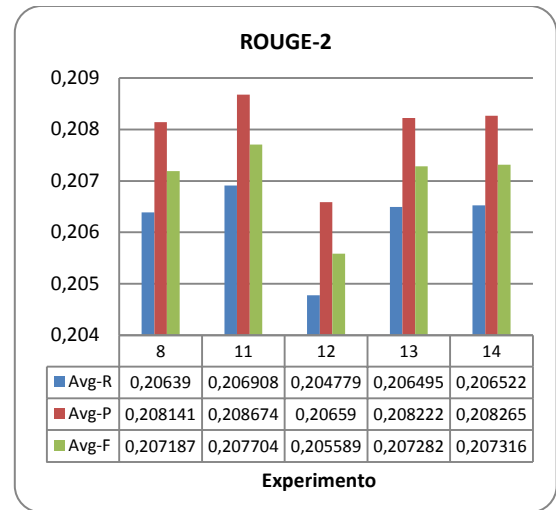
En la Tabla 89, se muestran los resultados correspondientes, los cuales se presentan gráficamente en las Figuras 262, 263 y 264.

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>8</b>	0,464520	0,468946	0,466548	0,206390	0,208141	0,207187	0,226632	0,228689	0,227569
<b>11</b>	<b>0,465083</b>	<b>0,469589</b>	<b>0,467133</b>	<b>0,206908</b>	<b>0,208674</b>	<b>0,207704</b>	<b>0,227120</b>	<b>0,229203</b>	<b>0,228060</b>
<b>12</b>	0,462510	0,467206	0,464630	0,204779	0,206590	0,205589	0,224973	0,227115	0,225934
<b>13</b>	0,464718	0,469094	0,466726	0,206495	0,208222	0,207282	0,226729	0,228755	0,227653
<b>14</b>	0,464468	0,468892	0,466501	0,206522	0,208265	0,207316	0,226798	0,228847	0,227732

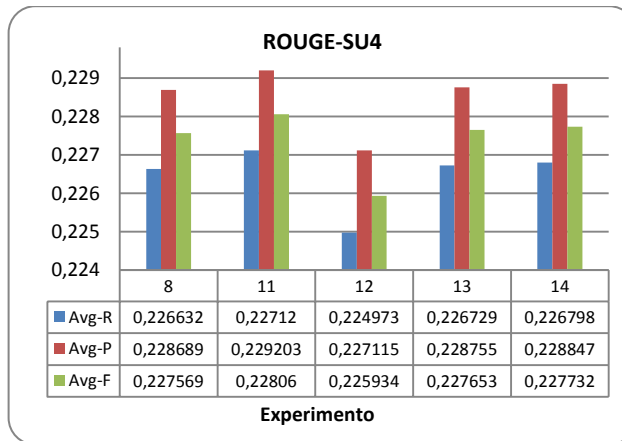
**Tabla 89.** Resultados de los experimentos de afinación de EG



**Figura 262.** Afinación del parámetro EG, ROUGE-1



**Figura 263.** Afinación del parámetro EG, ROUGE-2



**Figura 264.** Afinación del parámetro EG, ROUGE-SU4

En este caso, se observa que el mejor desempeño lo presenta el Experimento 11, superando a los demás en todas las medidas. De esta manera, el mejor valor para el parámetro de elitismo en generación es 1.

## 2.5 AFINACIÓN DEL TAMAÑO DEL GRUPO DE COMPETENCIA

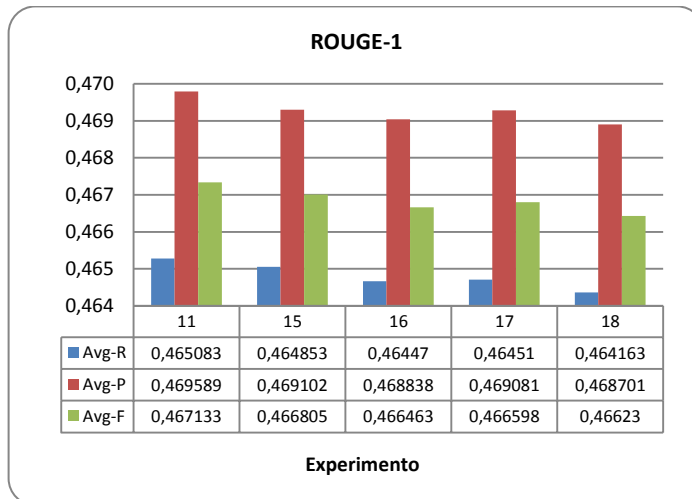
En este grupo se utilizó la configuración de parámetros con mejores resultados obtenida en los grupos anteriores, combinada con cuatro valores para el tamaño del grupo de competencia de 2, 3, 5 y 6, y se adiciona el experimento 11 del grupo anterior, donde se maneja un TGC de 4. En la Tabla 90 se lista la configuración de estos experimentos y en la Tabla 91 los resultados respectivos, los cuales son graficados en las Figuras 265, 266 y 267.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	MLED
11	30	3	1	1	4	150
15					2	
16					3	
17					5	
18					6	

**Tabla 90.** Configuración de parámetros en los experimentos de afinación de TGC

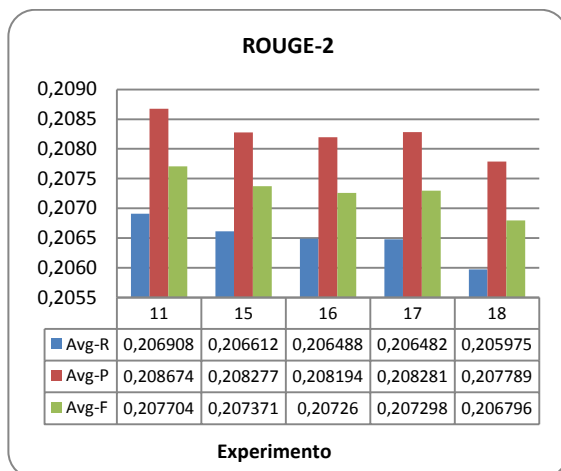
Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
11	0,465083	0,469589	0,467133	0,206908	0,208674	0,207704	0,227120	0,229203	0,228060
15	0,464853	0,469102	0,466805	0,206612	0,208277	0,207371	0,226800	0,228763	0,227696
16	0,464470	0,468838	0,466463	0,206488	0,208194	0,207260	0,226663	0,228672	0,227572
17	0,464510	0,469081	0,466598	0,206482	0,208281	0,207298	0,226699	0,228815	0,227659
18	0,464163	0,468701	0,466230	0,205975	0,207789	0,206796	0,226266	0,228384	0,227224

**Tabla 91.** Resultados de los experimentos de afinación de TGS

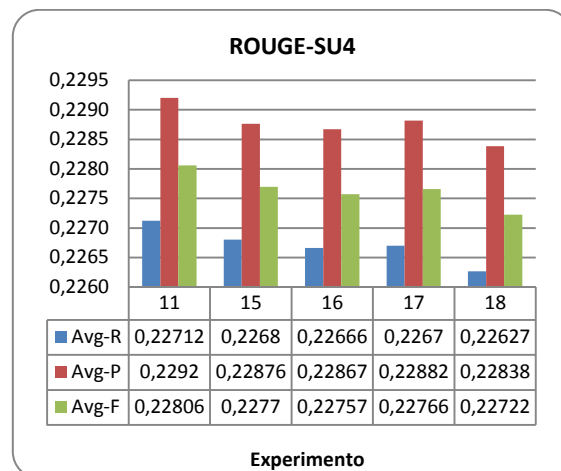


**Figura 265.** Afinación del parámetro TGC, ROUGE-1





**Figura 266.** Afinación del parámetro TGC, ROUGE-2



**Figura 267.** Afinación del parámetro TGC, ROUGE-SU4

En los resultados de este grupo se observa que el mejor desempeño es presentado por el Experimento 11. De este modo, el tamaño más adecuado para el grupo de competencia es de 4 agentes.

## 2.6 AFINACIÓN DE LA MÁXIMA LONGITUD A EVALUAR DE UN DOCUMENTO

La *máxima longitud a evaluar de un documento (MLED)*, es definida como un parámetro cuyo propósito es ampliar la cantidad de oraciones candidatas que pueden ser consideradas por un agente durante la ejecución del algoritmo memético y permitir una mejor exploración del espacio de búsqueda, de tal forma que a lo largo del proceso evolutivo, un agente es creado o modificado teniendo en cuenta que su longitud no sea superior al valor del parámetro MLED, entendiendo la longitud del agente como la sumatoria de las longitudes de las frases del documento representadas por las posiciones de los bits activos de un agente.

Para la afinación de este parámetro se analizó el comportamiento del algoritmo memético con cada variación del MLED y, así, llegar a un valor que mejorara el desempeño. Para ello se realizaron tres grupos de experimentos, en el primer grupo se evaluaron valores constantes de 250, 350 y 450, en el segundo se manejó un porcentaje de la longitud del documento original, mientras que en el tercer grupo este valor se seleccionó al azar, dentro de un rango de porcentajes de la longitud del documento original, cada vez que se generaba una posible solución.

### 2.6.1 Primer grupo: MLED con valores fijos

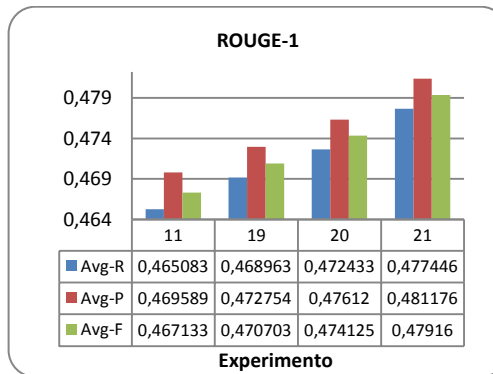
En este grupo se experimentó calculando el MLED como una longitud fija para todos los documentos, se tomaron valores de 250, 350 y 450, y se adiciona el experimento 11 del grupo anterior, donde se maneja un MLED de 150. En la Tabla 92 se lista la configuración de estos experimentos y en la Tabla 93 sus respectivos resultados, los cuales se graficaron en las Figuras 268, 269 y 270.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	MLED
11	30	3	1	1	4	150
19						250
20						350
21						450

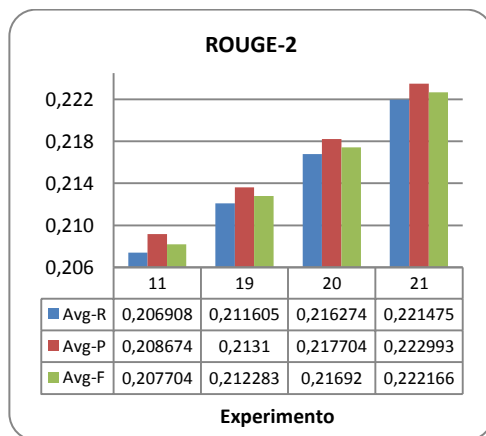
**Tabla 92.** Parámetros utilizados en el primer grupo de afinación de MLED

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
11	0,465083	0,469589	0,467133	0,206908	0,208674	0,207704	0,227120	0,229203	0,228060
19	0,468963	0,472754	0,470703	0,211605	0,213100	0,212283	0,230887	0,232633	0,231682
20	0,472433	0,476120	0,474125	0,216274	0,217704	0,216920	0,234467	0,236139	0,235226
21	0,477446	0,481176	0,479160	0,221475	0,222993	0,222166	0,239164	0,240906	0,239958

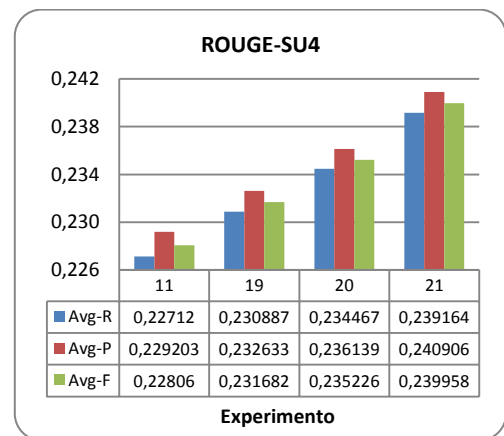
**Tabla 93.** Resultados del primer grupo de experimentos de afinación de MLED



**Figura 268.** Afinación del parámetro MLED, ROUGE-1



**Figura 269.** Afinación del parámetro MLED, ROUGE-2



**Figura 270.** Afinación del parámetro MLED, ROUGE-SU4

Según los resultados, se aprecia que, el incremento en el rendimiento de las tres medidas de ROUGE es directamente proporcional al incremento del MLED, siendo el Experimento 21 el más destacado, en el cual se evaluó una configuración de 450 palabras. Sin embargo, dicho valor para el MLED es muy elevado, pues al estudiar la longitud de los documentos, se estableció que el documento más corto contaba con 135 palabras, mientras que el más largo estaba formado por 2966, de tal manera que para documentos con una longitud menor a 450, los vectores solución del algoritmo memético tomaban todas las oraciones (todas sus posiciones quedaban activas), haciendo que la evolución perdiera el sentido al no realizarse exploración del espacio de búsqueda, en ese sentido, los resúmenes quedaban formados por las oraciones definidas por el criterio de ordenamiento realizado antes de la evaluación de calidad con ROUGE. Por lo tanto, se optó por realizar las pruebas del segundo grupo de experimentos calculando el MLED como un porcentaje de la longitud de cada documento.

### 2.6.2 Segundo grupo: MLED como un porcentaje

En este grupo se realizaron cuatro experimentos, calculando el MLED como un porcentaje de la longitud de cada documento. En la Tabla 94 se lista la configuración de estos experimentos y en la Tabla 95 sus respectivos resultados.

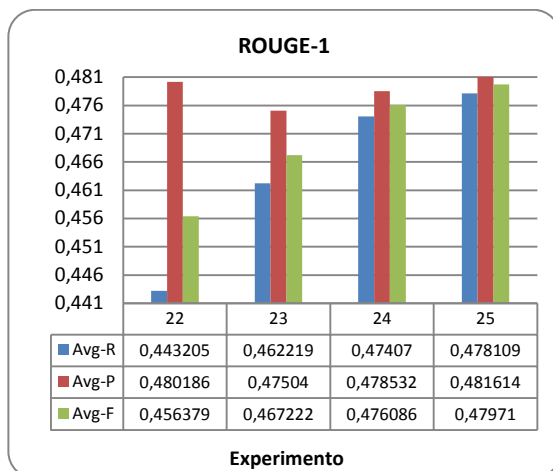
Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	Porcentaje para el cálculo de MLED (%)
11	30	3	1	1	4	40
19						50
20						60
21						70

**Tabla 94.** Parámetros utilizados en el segundo grupo de afinación de MLED

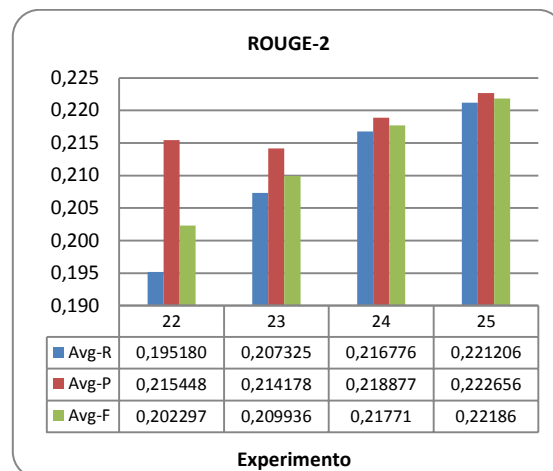
Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
22	0,443205	0,480186	0,456379	0,195180	0,215448	0,202297	0,214869	0,236406	0,222375
23	0,462219	0,475040	0,467222	0,207325	0,214178	0,209936	0,226350	0,233641	0,229117
24	0,474070	0,478532	0,476086	0,216776	0,218877	0,217710	0,235402	0,237680	0,236419
25	0,478109	0,481614	0,479710	0,221206	0,222656	0,221860	0,239158	0,240808	0,239905

**Tabla 95.** Resultados del segundo grupo de experimentos de afinación de MLED

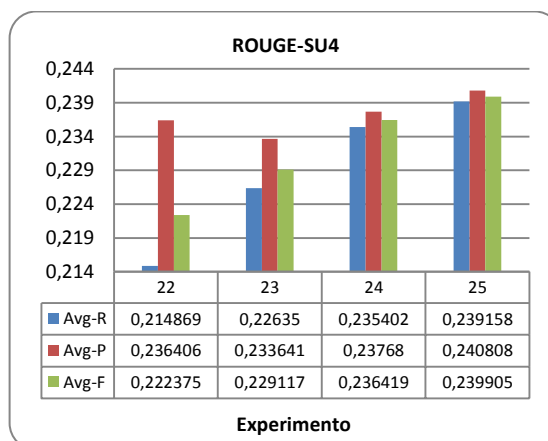
Los resultados de los experimentos de este grupo se graficaron en las Figuras 271, 272 y 273.



**Figura 271.** Segundo grupo de experimentos de afinación del parámetro MLED, ROUGE-1



**Figura 272.** Segundo grupo de experimentos de afinación del parámetro MLED, ROUGE-2



**Figura 273.** Segundo grupo de experimentos de afinación del parámetro MLED, ROUGE-SU4

Según los resultados, se aprecia que, en este grupo, el Experimento 25 ofrece el mejor rendimiento en las tres medidas de ROUGE con un porcentaje del 70% para el cálculo del MLED. Sin embargo, ese porcentaje es un poco alto, ya que siempre toma gran parte del documento. Así que se decidió realizar las pruebas del tercer grupo de experimentos seleccionando aleatoriamente este porcentaje de un rango específico de valores.

### 2.1.2 Tercer grupo: MLED como un porcentaje de un rango

Este grupo está constituido por seis experimentos, en los cuales el MLED es calculado aleatoriamente, entre un rango de longitudes establecidas mediante un porcentaje mínimo y máximo de la longitud del documento. Dentro de los rangos evaluados en este grupo, el porcentaje mínimo considerado es de 30% y como valor máximo se tomó el

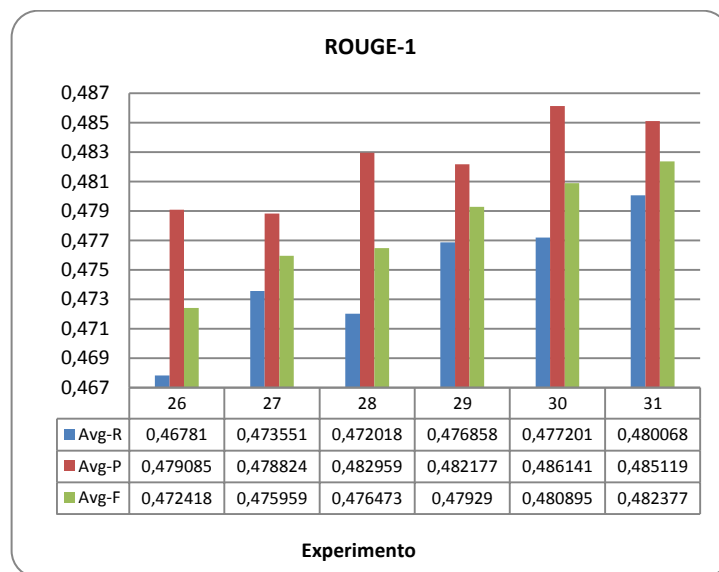
mejor resultado obtenido en el grupo anterior de 70%. En la Tabla 96, se muestran los valores de los parámetros utilizados en estos experimentos y en la Tabla 97 los resultados correspondientes, los cuales se presentan gráficamente en las Figuras 274, 275 y 276.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	Rango de porcentajes para el MLED (%)
26	30	3	1	1	4	30-60
27						30-70
28						40-60
29						40-70
30						50-60
31						50-70

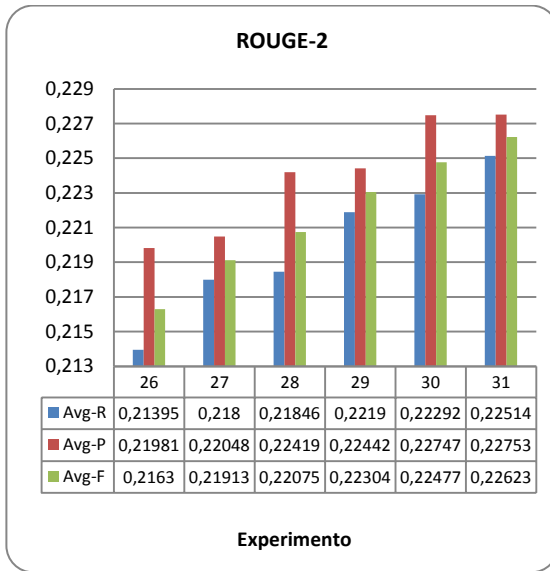
**Tabla 96.** Parámetros utilizados en el tercer grupo de afinación de MLED

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
26	0,467810	0,479085	0,472418	0,213950	0,219812	0,216302	0,232333	0,238624	0,234855
27	0,473551	0,478824	0,475959	0,217999	0,220476	0,219125	0,236324	0,239022	0,237551
28	0,472018	0,482959	0,476473	0,218457	0,224187	0,220749	0,236164	0,242293	0,238614
29	0,476858	0,482177	0,479290	0,221895	0,224417	0,223044	0,239342	0,242070	0,240584
30	0,477201	0,486141	0,480895	0,222921	0,227474	0,224770	0,239865	0,244745	0,241848
31	0,480068	0,485119	0,482377	0,225142	0,227525	0,226227	0,241914	0,244500	0,243093

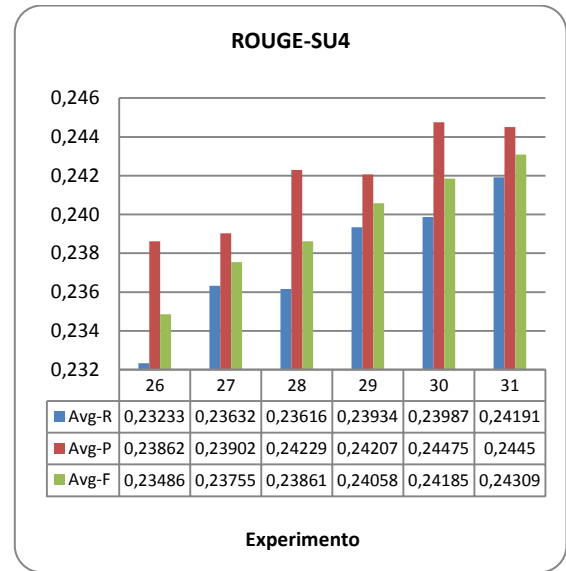
**Tabla 97.** Resultados del tercer grupo de experimentos de afinación de MLED



**Figura 274.** Afinación del parámetro MLED, ROUGE-1



**Figura 275.** Afinación del parámetro MLED, ROUGE-2



**Figura 276.** Afinación del parámetro MLED, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, se observa que el mejor comportamiento se obtiene con el Experimento 31, correspondiente al rango comprendido entre el 50 y 70 por ciento de la longitud del documento, obteniendo un mejor desempeño que con el Experimento 25 del grupo anterior. Esta configuración del MLED es utilizada en los experimentos posteriores, por su buen comportamiento y porque permite que los agentes consideren diferentes valores de MLED, ayudando, además, a eliminar la parcialidad asociada a valores fijos de MLED.

## 2.7 AFINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE OPTIMIZACIÓN

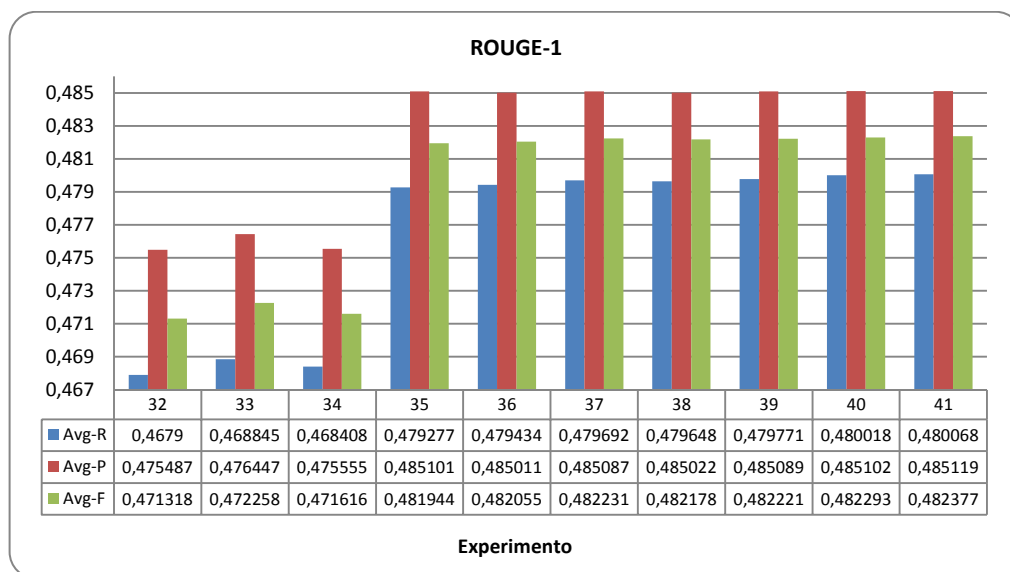
Para la afinación de la probabilidad de optimización (*POPT*), se utilizaron los valores de los parámetros obtenidos en las experimentaciones previas. El objetivo de este proceso, es evaluar el impacto de la aplicación de optimización local sobre el comportamiento del algoritmo memético propuesto, para esto, se definieron diferentes valores de *POPT* evaluados en los experimentos cuya configuración se presentan en la Tabla 98 y en la Tabla 99 los resultados correspondientes, los cuales se muestran gráficamente en las Figuras 277, 278 y 279 para facilitar su análisis.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	Rango de porcentajes para el MLED (%)	POPT
32	30	3	1	1	4	50-70	0.1
33							0.2
34							0.3
35							0.4
36							0.5
37							0.6
38							0.7
39							0.8
40							0.9
41							1.

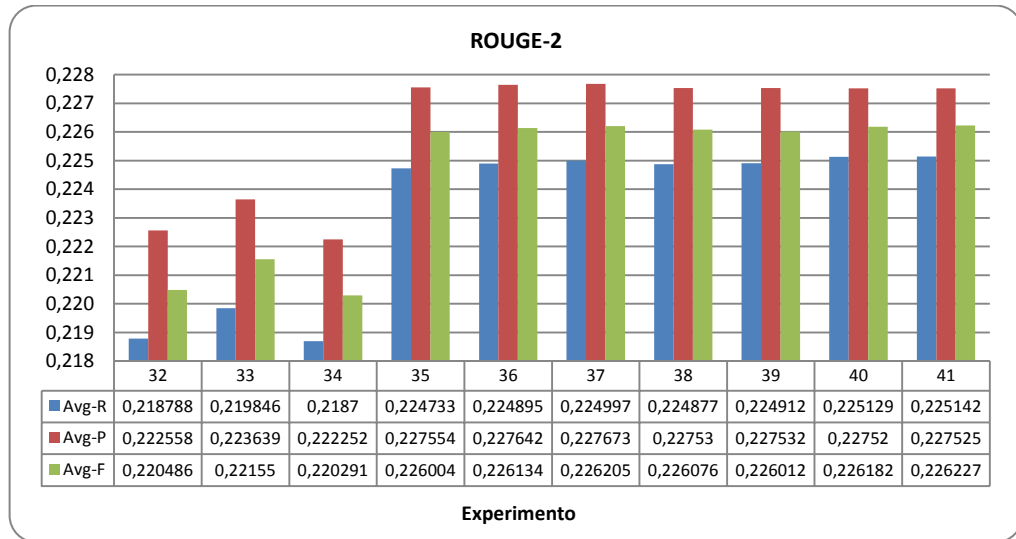
**Tabla 98.** Parámetros utilizados en el grupo de experimentos de afinación de POPT

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
32	0,4679	0,475487	0,471318	0,218788	0,222558	0,220486	0,232908	0,236991	0,234746
33	0,468845	0,476447	0,472258	0,219846	0,223639	0,22155	0,233928	0,238044	0,235775
34	0,468408	0,475555	0,471616	0,2187	0,222252	0,220291	0,233036	0,236896	0,234764
35	0,479277	0,485101	0,481944	0,224733	0,227554	0,226004	0,241557	0,244493	0,242926
36	0,479434	0,485011	0,482055	0,224895	0,227642	0,226134	0,241674	0,244537	0,242912
37	0,479692	0,485087	0,482231	0,224997	<b>0,227673</b>	0,226205	0,241753	<b>0,244539</b>	0,242956
38	0,479648	0,485022	0,482178	0,224877	0,22753	0,226076	0,241722	0,24449	0,24232
39	0,479771	0,485089	0,482221	0,224912	0,227532	0,226012	0,241862	0,244489	0,242335
40	0,480018	0,485102	0,482293	0,225129	0,22752	0,226182	0,241761	0,244487	0,242795
41	<b>0,480068</b>	<b>0,485119</b>	<b>0,482377</b>	<b>0,225142</b>	0,227525	<b>0,226227</b>	<b>0,241914</b>	0,2445	<b>0,243093</b>

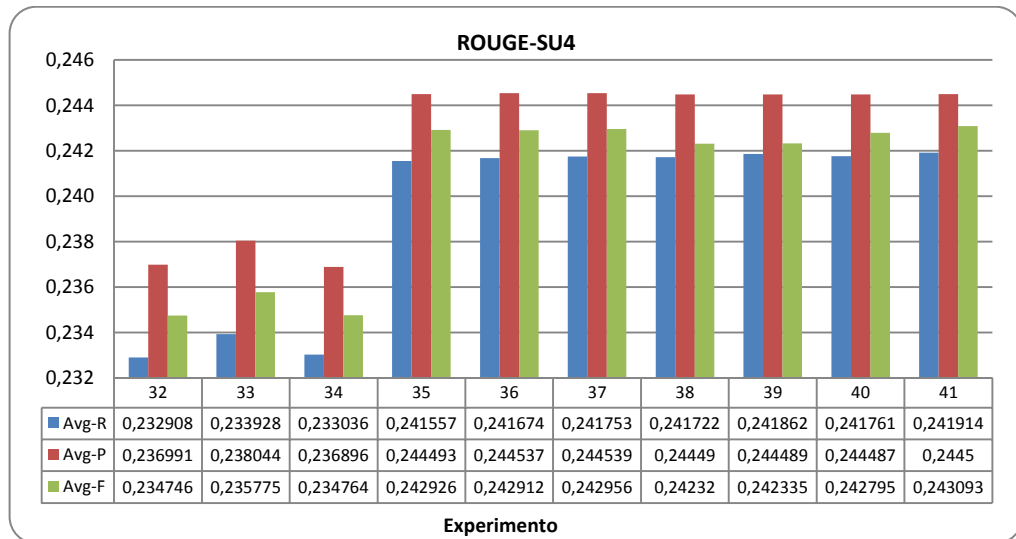
**Tabla 99.** Resultados del grupo de experimentos de afinación de POPT



**Figura 277.** Afinación de POPT, ROUGE-1



**Figura 278.** Afinación de POPT, ROUGE-2



**Figura 279.** Afinación de POPT, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el rendimiento del algoritmo memético propuesto es directamente proporcional al incremento en la probabilidad de optimización, lo que reafirma las ventajas que conlleva la optimización de los agentes de la población. Por lo tanto se decidió trabajar con una probabilidad de optimización de 1.0 correspondiente al Experimento 36, es decir, siempre se optimiza los agentes generados.

## 2.8 AFINACIÓN DE LA PROBABILIDAD DE MUTACIÓN

La afinación de la probabilidad de mutación (PM), se realizó con el objetivo de evaluar el impacto de la frecuencia de aplicación del operador de mutación sobre el comportamiento



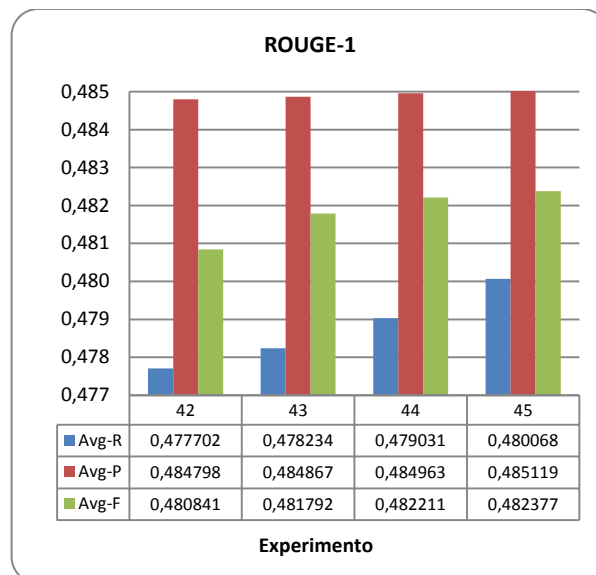
del algoritmo memético propuesto. De esta manera, se definieron diferentes valores de probabilidad de mutación, evaluados en los experimentos cuya configuración se presenta en la Tabla 100. Debido a que, según la literatura de algoritmo evolutivos [9, 23, 24], es recomendable manejar una probabilidad de mutación baja, el máximo valor evaluado para este parámetro corresponde a 0.4. En la Tabla 101 se muestran los resultados correspondientes a esta etapa, los cuales se exponen gráficamente en las Figuras 280, 281 y 282.

Exp.	TP	NOPT	ER	EG	TGC	Rango de porcentajes para el MLED (%)	POPT	PM
42	30	3	1	1	4	50-70	1.0	0.1
43								0.2
44								0.3
45								0.4

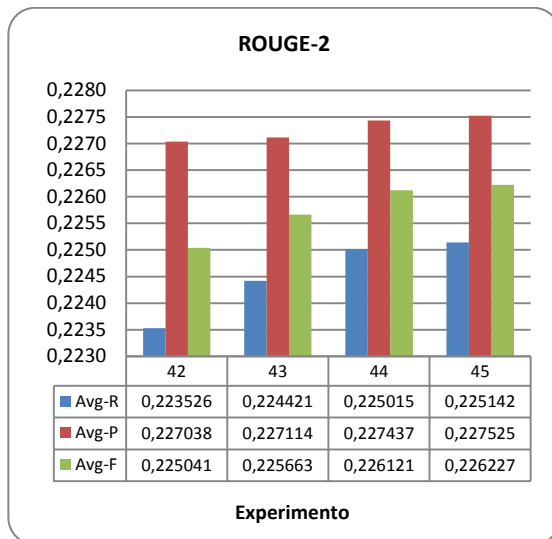
**Tabla 100.** Parámetros utilizados en el grupo de experimentos de afinación de PM

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
42	0,477702	0,484798	0,480841	0,223526	0,227038	0,225041	0,241088	0,244133	0,242604
43	0,478234	0,484867	0,481792	0,224421	0,227114	0,225663	0,241437	0,244205	0,242086
44	0,479031	0,484963	0,482211	0,225015	0,227437	0,226121	0,241923	0,244258	0,242931
45	<b>0,480068</b>	<b>0,485119</b>	<b>0,482377</b>	<b>0,225142</b>	<b>0,227525</b>	<b>0,226227</b>	<b>0,241914</b>	<b>0,244500</b>	<b>0,243093</b>

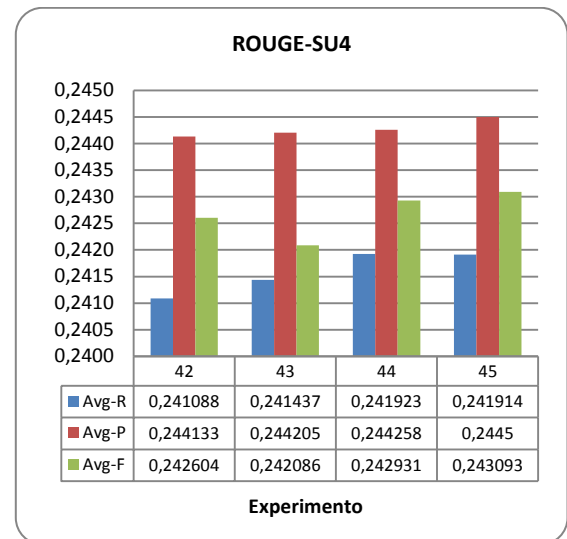
**Tabla 101.** Resultados del grupo de experimentos de afinación de PM



**Figura 280.** Afinación de la PM, ROUGE-1



**Figura 281.** Afinación de la PM, ROUGE-2



**Figura 282.** Afinación de la PM, ROUGE-SU4

Según los resultados obtenidos, al igual que ocurrió con la probabilidad de optimización, el rendimiento del algoritmo memético propuesto crece conforme a la probabilidad de mutación, en ese sentido, se continuó utilizando la probabilidad de 0.4 (Experimento 45).

### 3 AFINACIÓN DE PESOS DE LA FUNCIÓN OBJETIVO DEL MA

El proceso de afinación de pesos de la función objetivo del MA se inicia partir de la configuración presentada en la Ecuación (12) y se divide en dos etapas. En la primera se diseñó un algoritmo genético (GA), con el fin de obtener varios conjuntos de pesos, con los cuales, posteriormente, se evalúa la función objetivo con el MA, para determinar cuál presenta el mejor desempeño. En la segunda etapa, se utiliza como referencia el mejor conjunto de pesos obtenido en la primera etapa, para generar nuevos conjuntos de pesos sin la utilización del GA, que son evaluados con el fin de obtener un mejor desempeño de la función objetivo.

$$f(x) = \alpha * Posición + \beta * Longitud + \gamma * Cohesión + \mu * Cobertura + \rho * Relación con el título \quad (12)$$

#### 3.1 PRIMERA ETAPA: Pesos iniciales obtenidos con el GA diseñado

Esta etapa se dividió en tres grupos, en los cuales mediante el GA, se obtuvieron nueve conjuntos de pesos diferentes.

El primer grupo de pesos fue obtenido con tres ejecuciones diferentes del GA, en las cuales se consideraron tres funciones objetivo, correspondientes a la medida-F de ROUGE-1, ROUGE-2 y ROUGE-SU4, obtenidas al evaluar el resumen generado por el MA, que, en los tres casos, se ejecutaba internamente con 10 conjuntos de documentos<sup>19</sup>.

<sup>19</sup> D061j, D62j, D063j, D066j, D067j, D070j, D071f, D074b, D097e, D113h

Los otros dos grupos fueron configurados en forma similar, sólo que en lugar de usar la medida-F como función objetivo, utilizaron los valores de recuerdo y precisión de las métricas de ROUGE.

Las funciones objetivo del GA y los pesos obtenidos a partir de ellas se presentan en las Tablas 102, 103 y 104.

Función objetivo del GA	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
R1F del MA	0,30	0,20	0,10	0,10	0,30
R2F del MA	0,26	0,08	0,24	0,03	0,39
RSU4F del MA	0,35	0,30	0	0	0,35

**Tabla 102.** Primer grupo de pesos obtenidos con el GA

Función objetivo del GA	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
R1R del MA	0,56	0,10	0	0	0,34
R2R del MA	0,36	0,38	0,005	0,005	0,25
RSU4R del MA	0,19	0,25	0,47	0,01	0,08

**Tabla 103.** Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA

Función objetivo del GA	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
R1P del MA	0,31	0,195	0,01	0,025	0,46
R2P del MA	0,315	0,19	0,01	0,015	0,47
RSU4P del MA	0,395	0,395	0,005	0,005	0,20

**Tabla 104.** Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA

Los nueve conjuntos de pesos obtenidos a partir del GA fueron evaluados en la función objetivo del algoritmo memético, con todos los documentos de DUC2002, y sus resultados son presentados en las Tablas 106, 107 y 108 y se muestran gráficamente en las Figuras 283 a 291.

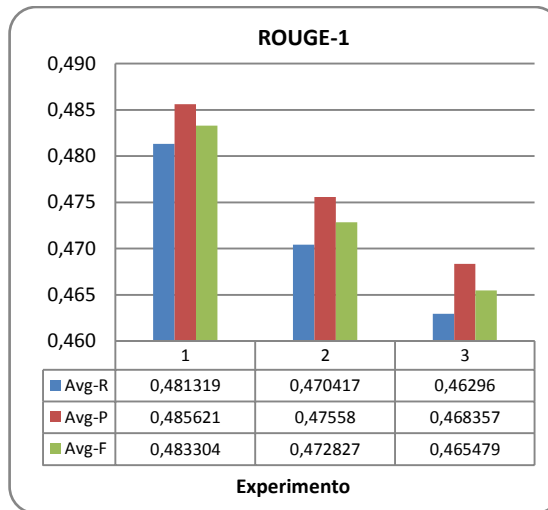
Para seleccionar el mejor conjunto de pesos obtenido en cada grupo, se utilizó como medida de referencia, los resultados obtenidos en el Experimento 45, obtenido al final de la afinación de parámetros en la sección anterior, todas las características que conforman la función objetivo se consideraron con la misma proporción de pesos de 0.2, y que será referido a partir de esta sección como Experimento 0.

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>0</b>	0,480068	0,485119	0,482377	0,225142	0,227525	0,226227	0,241914	0,244500	0,243093

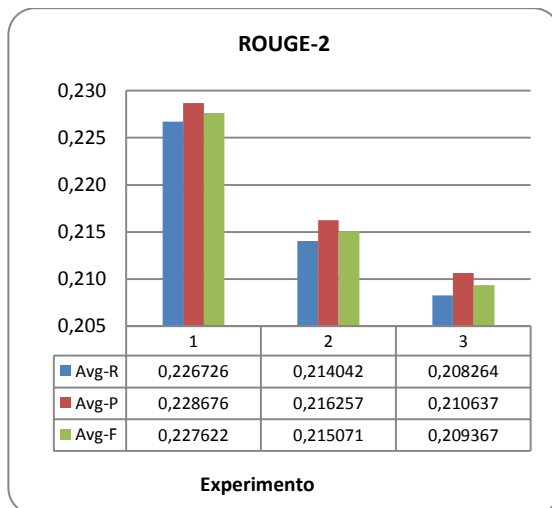
**Tabla 105.** Resultados del Experimento 0

Exp.	FO del GA	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	R1F del MA	0,481319	0,485621	0,483304	0,226726	0,228676	0,227622	0,243031	0,245182	0,244019
2	R2F del MA	0,470417	0,475580	0,472827	0,214042	0,216257	0,215071	0,232917	0,235418	0,234080
3	RSU4F del MA	0,462960	0,468357	0,465479	0,208264	0,210637	0,209367	0,227953	0,230601	0,229185

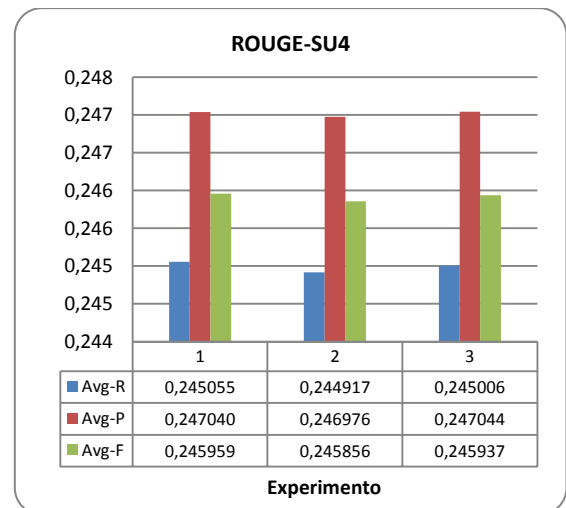
**Tabla 106.** Resultados del MA con el primer grupo de pesos obtenidos con el GA



**Figura 283.** Primer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-1



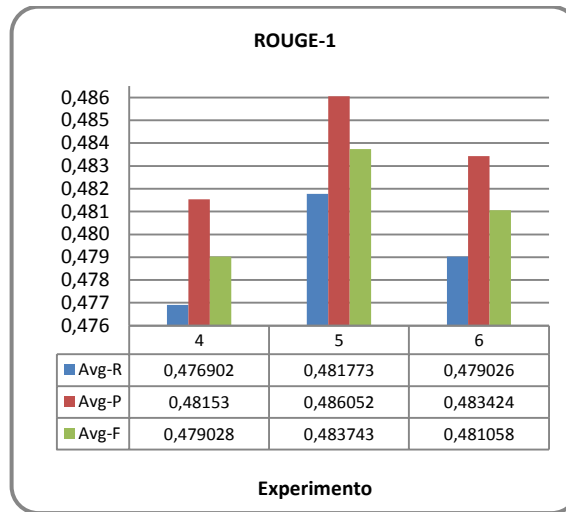
**Figura 284.** Primer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-2



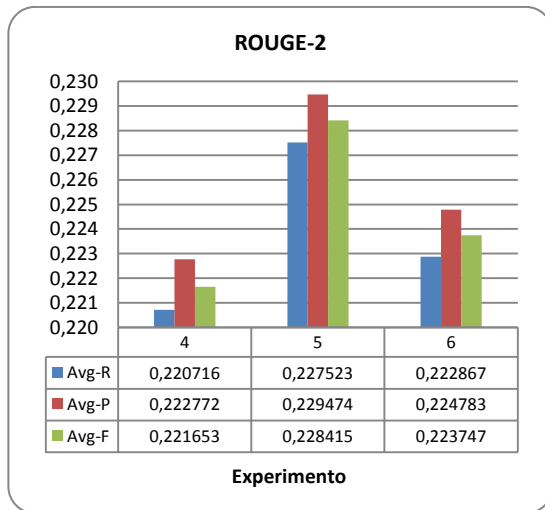
**Figura 285.** Medida RSU4 del primer grupo de pesos obtenidos con el GA

Exp.	FO del GA	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
4	R1R del MA	0,476902	0,481530	0,479028	0,220716	0,222772	0,221653	0,238729	0,241009	0,239769
5	R2R del MA	0,481773	0,486052	0,483743	0,227523	0,229474	0,228415	0,243727	0,245878	0,244712
6	RSU4R del MA	0,479026	0,483424	0,481058	0,222867	0,224783	0,223747	0,240419	0,242556	0,241400

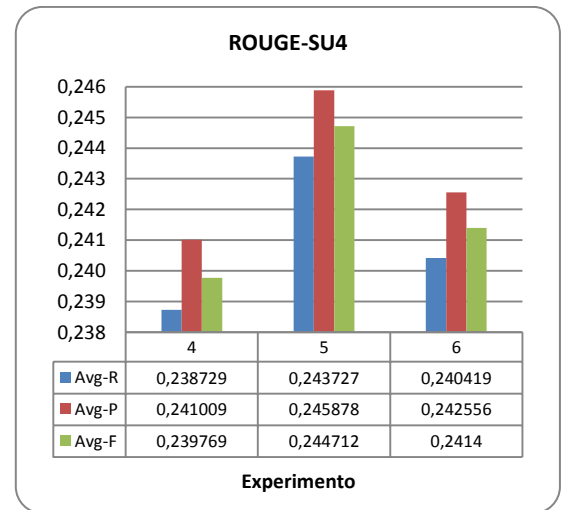
**Tabla 107.** Resultados del MA con el segundo grupo de pesos obtenidos con el GA



**Figura 286.** Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-1



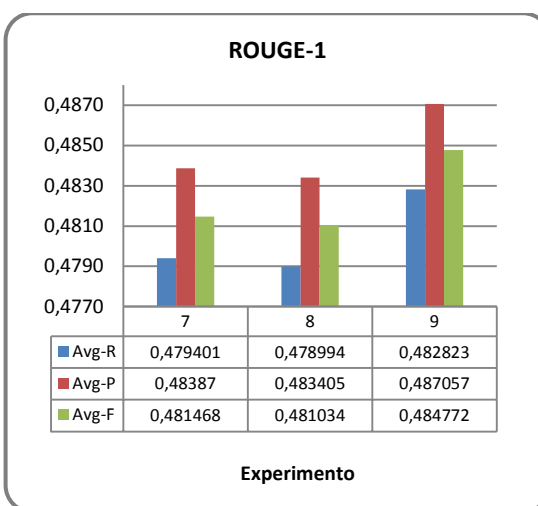
**Figura 287.** Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-2



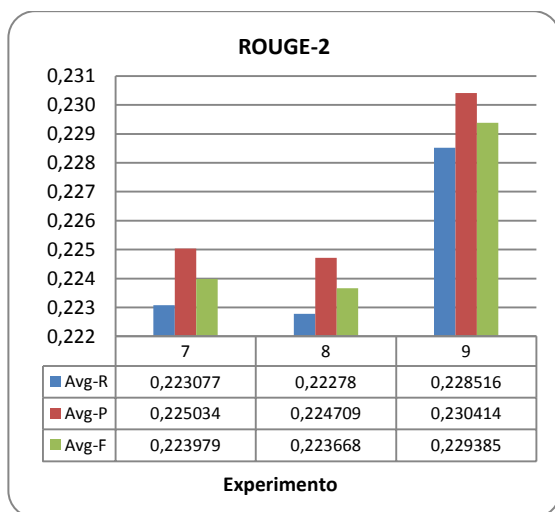
**Figura 288.** Segundo grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-SU4

Exp.	FO del GA	R1R			R2R			RSU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
7	R1P del MA	0,479401	0,483870	0,481468	0,223077	0,225034	0,223979	0,240627	0,242808	0,241629
8	R2P del MA	0,478994	0,483405	0,481034	0,222780	0,224709	0,223668	0,240400	0,242548	0,241387
9	RSU4P del MA	0,482823	0,487057	0,484772	0,228516	0,230414	0,229385	0,244591	0,246695	0,245556

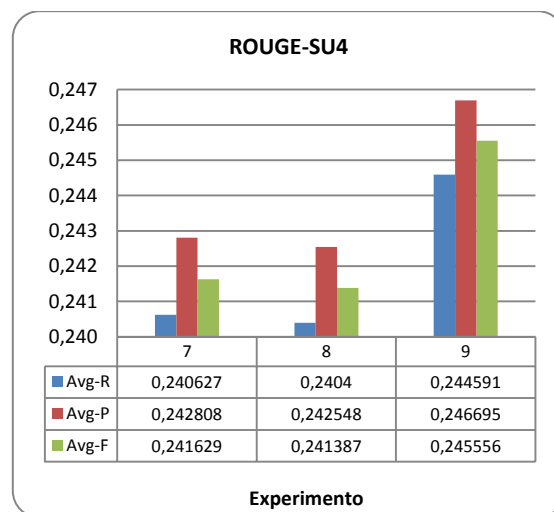
**Tabla 108.** Resultados del MA con el tercer grupo de pesos obtenidos con el GA



**Figura 289.** Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-1



**Figura 290.** Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-2



**Figura 291.** Tercer grupo de pesos obtenidos con el GA, ROUGE-SU4

De acuerdo al análisis realizado, los resultados que superaron al experimento 0, dentro de cada grupo, fueron los presentados por los experimentos 1, 5 y 9 del primero, segundo y tercer grupo, respectivamente.

### 3.2 SEGUNDA ETAPA: Afinación de pesos

En la segunda etapa de afinación de pesos, las experimentaciones se realizan a partir de los experimentos 1, 5 y 9, obtenidos en la etapa anterior, realizando pequeñas variaciones decimales sobre tales pesos, con el propósito de conseguir mejores resultados. En ese sentido, se formaron cinco grupos de experimentos presentados a continuación.

#### 3.2.1 Primer grupo

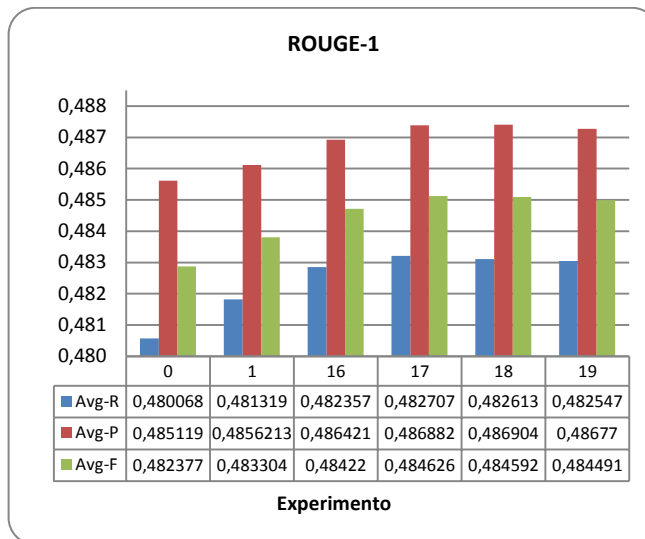
En este grupo se utilizó como medida de referencia, los resultados obtenidos en el Experimento 1. En la Tabla 109 se presentan cada uno de los conjuntos de pesos evaluados, y en la Tabla 110 se muestran los resultados obtenidos. Para un análisis más detallado, en las Figuras 292, 293 y 294 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.

Exp.	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
<b>0</b>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
<b>1</b>	0,5	0,1	0,05	0,05	0,3
<b>16</b>	0,4	0,2	0,05	0,05	0,3
<b>17</b>	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3
<b>18</b>	0,3	0,2	0,05	0,05	0,4
<b>19</b>	0,3	0,3	0,05	0,05	0,3

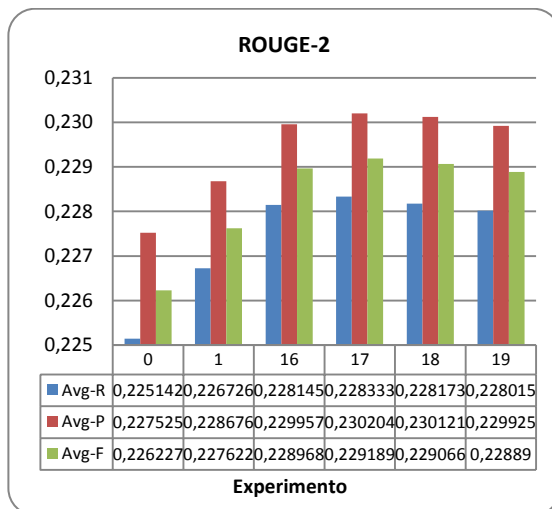
**Tabla 109.** Primer grupo de pesos evaluados con la FO del MA

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>0</b>	0,480068	0,485119	0,482377	0,225142	0,227525	0,226227	0,241914	0,244500	0,243093
<b>1</b>	0,481319	0,485621	0,483304	0,226726	0,228676	0,227622	0,243031	0,245182	0,244019
<b>16</b>	0,482357	0,486421	0,484220	0,228145	0,229957	0,228968	0,244098	0,246114	0,245016
<b>17</b>	<b>0,482707</b>	<b>0,486882</b>	<b>0,484626</b>	<b>0,228333</b>	<b>0,230204</b>	<b>0,229189</b>	<b>0,244182</b>	<b>0,246255</b>	<b>0,245130</b>
<b>18</b>	0,482613	0,486904	0,484592	0,228173	0,230121	0,229066	0,244149	0,246293	0,245133
<b>19</b>	0,482547	0,486770	0,484491	0,228015	0,229925	0,228890	0,244156	0,246270	0,245126

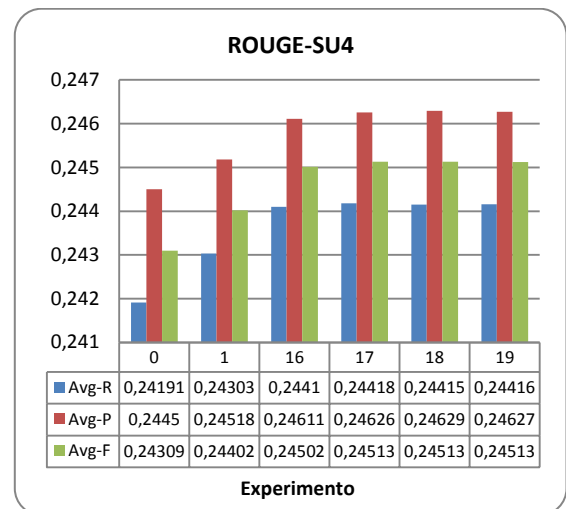
**Tabla 110.** Resultados de los experimentos del primer grupo de afinación de pesos de la FO del MA



**Figura 292.** Primer grupo de experimentos de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1



**Figura 293.** Primer grupo de experimentos de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1



**Figura 294.** Primer grupo de experimentos de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2

### 3.2.2 Segundo grupo

En este grupo se utilizó como medida de referencia, los resultados obtenidos en el Experimento 5. En la Tabla 111 se presentan cada uno de los conjuntos de pesos evaluados, y en la Tabla 112 se muestran los resultados obtenidos. Para un análisis más detallado, en las Figuras 295, 296 y 297 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.

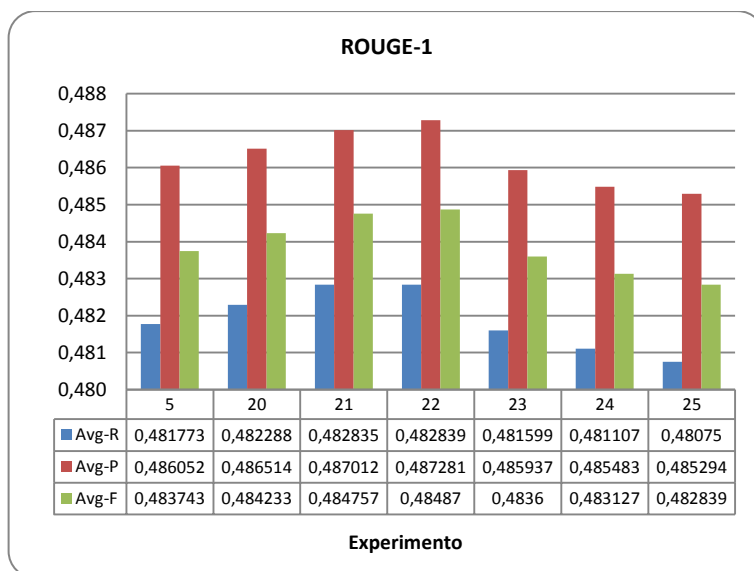


Exp.	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
5	0,36	0,38	0,005	0,005	0,25
20	0,34	0,31	0,005	0,005	0,34
21	0,33	0,36	0,005	0,005	0,3
22	0,35	0,29	0,005	0,005	0,35
23	0,35	0,35	0,005	0,005	0,29
24	0,38	0,4	0,01	0,01	0,2
25	0,45	0,24	0,005	0,005	0,3

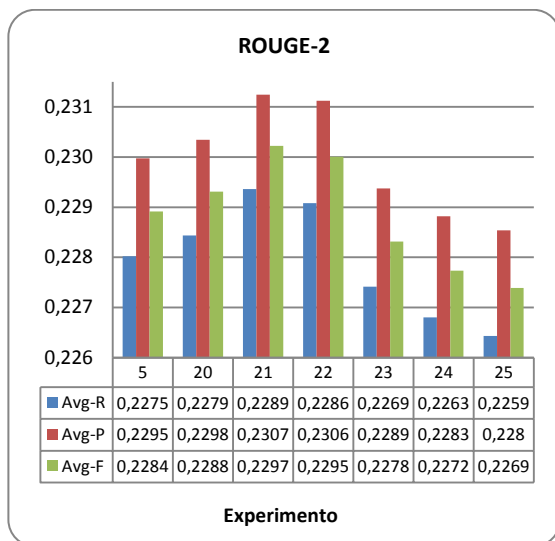
**Tabla 111.** Segundo grupo de pesos evaluados con la FO del MA

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
5	0,481773	0,486052	0,483743	0,227523	0,229474	0,228415	0,243727	0,245878	0,244712
20	0,482288	0,486514	0,484233	0,227933	0,229843	0,228808	0,244032	0,246142	0,244998
21	0,482835	0,487012	0,484757	0,228860	0,230742	0,229721	0,244778	0,246861	0,245731
22	<b>0,482839</b>	<b>0,487281</b>	<b>0,484870</b>	<b>0,228578</b>	<b>0,230624</b>	<b>0,229505</b>	<b>0,244643</b>	<b>0,246893</b>	<b>0,245664</b>
23	0,481599	0,485937	0,483600	0,226912	0,228876	0,227813	0,243234	0,245405	0,244231
24	0,481107	0,485483	0,483127	0,226303	0,228321	0,227231	0,242706	0,244920	0,243725
25	0,480750	0,485294	0,482839	0,225928	0,228035	0,226890	0,242478	0,244782	0,243531

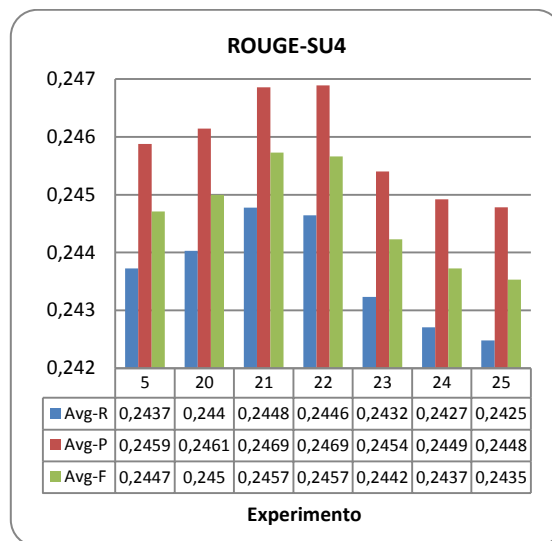
**Tabla 112.** Resultados de los experimentos del segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA



**Figura 295.** Segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1



**Figura 296.** Segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2



**Figura 297.** Segundo grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4

### 3.2.3 Tercer grupo

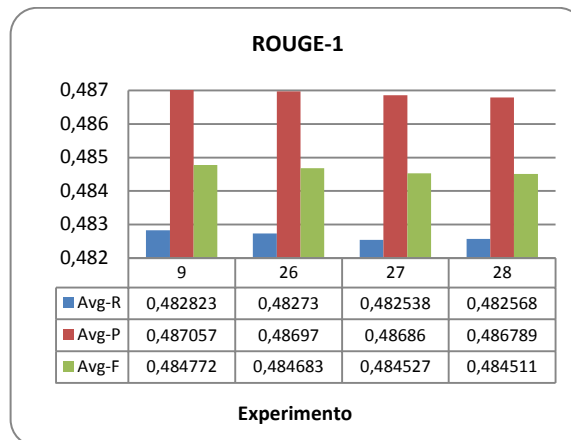
En este grupo se utilizó como medida de referencia, los resultados obtenidos en el Experimento 9. En la Tabla 113 se presentan cada uno de los conjuntos de pesos evaluados, y en la Tabla 114 se muestran los resultados obtenidos. Para un análisis más detallado, en las Figuras 298, 299 y 300 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.

Exp.	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
<b>9</b>	0,395	0,395	0,005	0,005	0,2
<b>26</b>	0,354	0,352	0,001	0,001	0,292
<b>27</b>	0,348	0,29	0,007	0,007	0,348
<b>28</b>	0,349	0,29	0,006	0,006	0,349

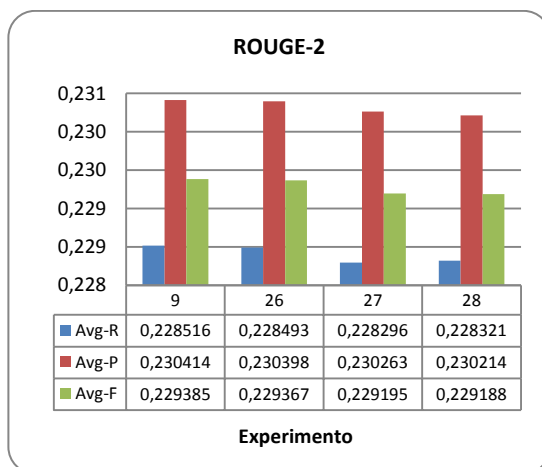
**Tabla 113.** Tercer grupo de pesos evaluados con la FO del MA

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>9</b>	0,482823	0,487057	0,484772	0,228516	0,230414	0,229385	0,244591	0,246695	0,245556
<b>26</b>	0,482730	0,486970	0,484683	0,228493	0,230398	0,229367	0,244624	0,246737	0,245593
<b>27</b>	0,482538	0,486860	0,484527	0,228296	0,230263	0,229195	0,244279	0,246449	0,245272
<b>28</b>	0,482568	0,486789	0,484511	0,228321	0,230214	0,229188	0,244265	0,246360	0,245226

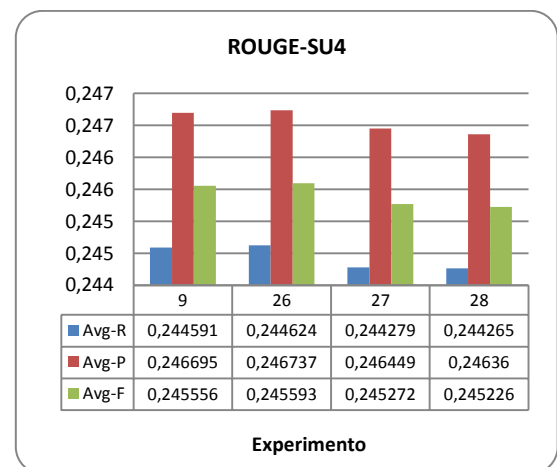
**Tabla 114.** Resultados de los experimentos del tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA



**Figura 298.** Tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1



**Figura 299.** Tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2



**Figura 300.** Tercer grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4

### 3.2.4 Cuarto grupo

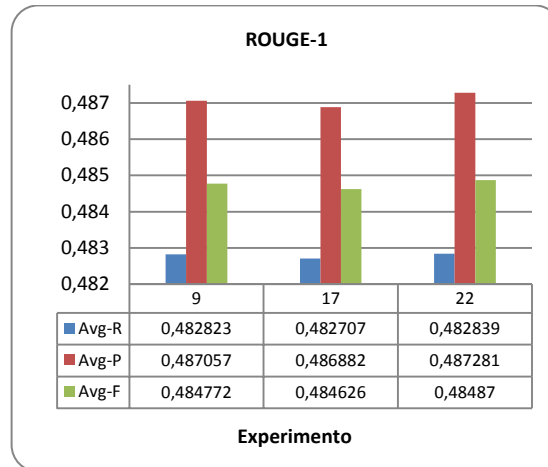
Este grupo está conformado por los mejores experimentos obtenidos en los tres grupos anteriores, correspondientes a los experimentos 9, 17 y 22, los cuales son presentados en la Tabla 115 y sus resultados son recopilados en la Tabla 116 para ser comparados entre sí y determinar cuál ofrece un mejor desempeño. Para un análisis más detallado, en las Figuras 301, 302 y 303 se aprecia el comportamiento de los experimentos de este grupo.

Exp.	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
<b>9</b>	0,395	0,395	0,005	0,005	0,2
<b>17</b>	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3
<b>22</b>	0,35	0,29	0,005	0,005	0,35

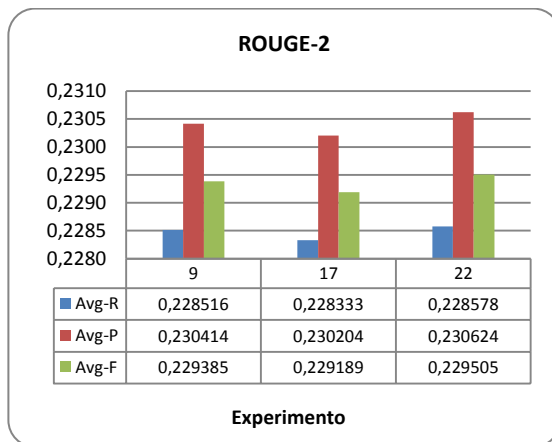
**Tabla 115.** Cuarto grupo de pesos evaluados con la FO del MA

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
9	0,482823	0,487057	0,484772	0,228516	0,230414	0,229385	0,244591	0,246695	0,245556
17	0,482707	0,486882	0,484626	0,228333	0,230204	0,229189	0,244182	0,246255	0,245130
22	0,482839	0,487281	0,484870	0,228578	0,230624	0,229505	0,244643	0,246893	0,245664

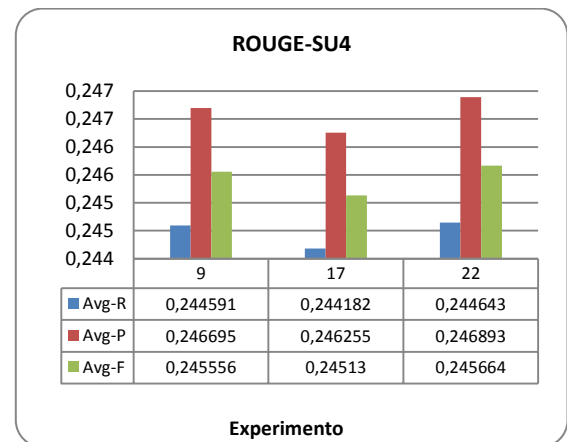
**Tabla 116.** Resultados de los experimentos del cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA



**Figura 301.** Cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1



**Figura 302.** Cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2



**Figura 303.** Cuarto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4

### 3.2.5 Quinto grupo

De acuerdo al análisis del cuarto grupo, el experimento que más se destacó fue el experimento 22, por lo tanto se decidió realizar pequeñas variaciones decimales por encima y por debajo sobre los pesos evaluados en dicho experimento, para determinar su

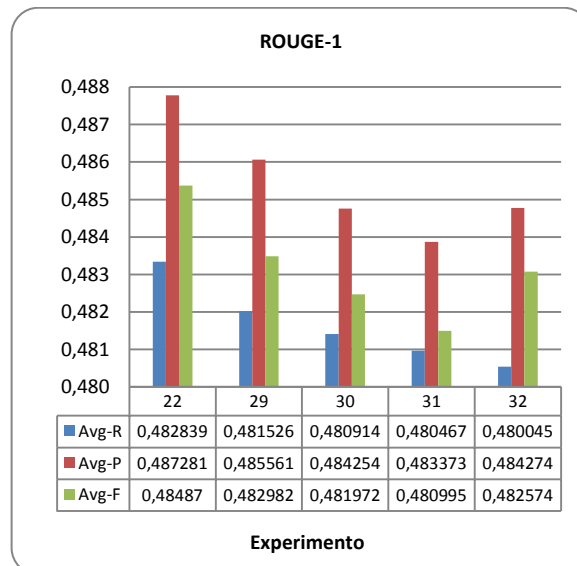
comportamiento y verificar si existe la posibilidad de mejorar los resultados. En la Tabla 117 se muestra la configuración de los experimentos de este grupo y en la Tabla 118 los resultados correspondientes, los cuales se exponen gráficamente en las Figuras 304, 305 y 306.

Exp.	Posición	Longitud	Cobertura	Cohesión	Relación con el título
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\mu$	$\rho$
<b>22</b>	0,35	0,29	0,005	0,005	0,35
<b>29</b>	0,34995	0,2901	0,005	0,005	0,34995
<b>30</b>	0,35005	0,2899	0,005	0,005	0,35005
<b>31</b>	0,3475	0,295	0,005	0,005	0,3475
<b>32</b>	0,355	0,28	0,005	0,005	0,355

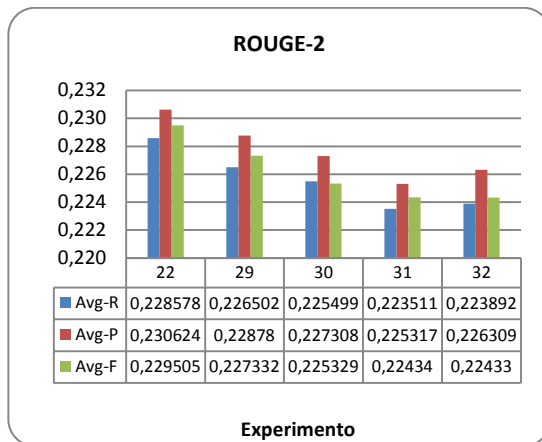
**Tabla 117.** Quinto grupo de pesos evaluados con la FO del MA

Exp.	R1R			R2R			RSU4		
	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
<b>22</b>	0,482839	0,487281	0,484870	0,228578	0,230624	0,229505	0,244643	0,246893	0,245664
<b>29</b>	0,480026	0,484261	0,481982	0,223502	0,225310	0,224332	0,241115	0,243154	0,242052
<b>30</b>	0,480014	0,484254	0,481972	0,223499	0,225308	0,224329	0,241116	0,243158	0,242054
<b>31</b>	0,480040	0,484273	0,481995	0,223511	0,225317	0,224340	0,241124	0,243161	0,242059
<b>32</b>	0,480040	0,484274	0,481996	0,223502	0,225309	0,224330	0,241117	0,243156	0,242054

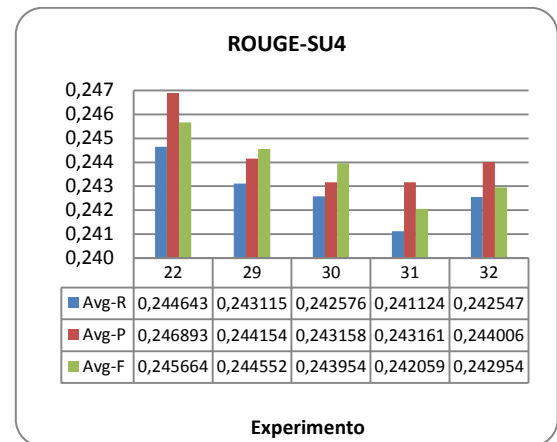
**Tabla 118.** Resultados de los experimentos del Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA



**Figura 304.** Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-1



**Figura 305.** Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-2



**Figura 306.** Quinto grupo de afinación de pesos de la FO del MA, ROUGE-SU4

De acuerdo al análisis de los resultados obtenidos en este grupo de experimentos, se ratifica que el conjunto de pesos que mejora el desempeño de la función objetivo, corresponde al evaluado en el experimento 22, en ese sentido, se observa que las pequeñas variaciones realizadas sobre sus valores no produjeron mejores resultados, por lo que el proceso de afinamiento termina con este grupo.

Por lo tanto, la función objetivo final queda configurada como se ve en la Ecuación (13).

$$f(x) = 0,35 * Posición + 0,29 * Longitud + 0,005 * Cohesión + 0,005 * Cobertura + 0,35 * Relación con el título \quad (13)$$

#### 4 EVALUACIÓN ADICIONAL DE CRITERIOS DE SELECCIÓN DE ORACIONES

En el sistema propuesto en esta investigación, al final de la ejecución del algoritmo memético se obtiene un vector solución, cuyas posiciones con valor igual a 1 son ordenadas descendientemente de acuerdo al valor obtenido a través de la Ecuación (14), donde  $x_i$  es la  $i$ -ésima frase del documento. Dicha ecuación es una variación de la función objetivo que se está maximizando, y permite obtener un puntaje por oración individual. De esta manera, cada gen del vector solución con valor 1 es decodificado para obtener las oraciones originales del documento respectivas, que finalmente conforman el resumen generado, el cual es truncado a 100 palabras.

$$f(x_i) = Posición(x_i) + Longitud(x_i) + Relación con el título(x_i) + Cohesión(x_i) + Cobertura(x_i) \quad (14)$$

Con base en el aspecto anterior, y considerando que durante la afinación del parámetro MLED (Sección 2.6) se observó que el mejoramiento de los resultados de las medidas de ROUGE crecía directamente proporcional al valor del MLED, se presumió que además de que el diseño de la función objetivo propuesta tenía una gran influencia favorable sobre el comportamiento del algoritmo memético, las características que la componían tenían, individualmente, un efecto positivo sobre el tipo de datos que se estaba evaluando. De

acuerdo a estas consideraciones, a pesar de no estar dentro del alcance planteado en esta investigación, se decidió definir algunas experimentaciones adicionales sin la intervención del algoritmo memético, con el propósito de analizar la influencia individual que ejercen las características que conforman la función objetivo propuesta, sobre la selección de las oraciones del documento. En ese sentido, los experimentos definidos, y presentados a continuación, evalúan diferentes criterios de selección de oraciones, los cuales utilizan una o más características de la función objetivo, que se calcula para cada oración de todo el documento, de modo que se obtenga un puntaje individual para cada oración, el cual determina el orden en que serán seleccionadas estas oraciones para conformar el resumen resultante. Este análisis se realizó con los conjuntos de documentos de DUC 2002 y DUC 2001. Los experimentos se dividieron en cinco grupos de acuerdo a la combinación de características analizada.

#### 4.1 ANÁLISIS CON DUC 2002

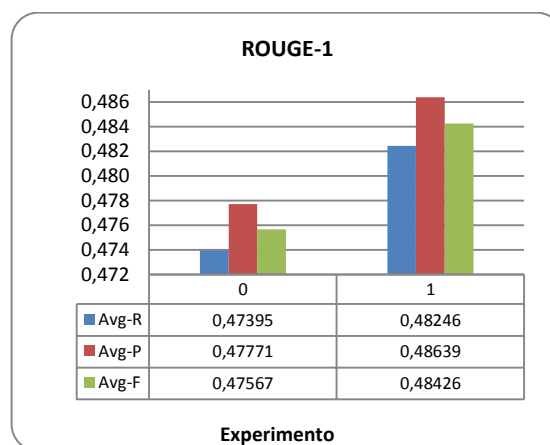
##### 4.1.1 Elección del criterio de selección

###### 4.1.1.1 Primer grupo

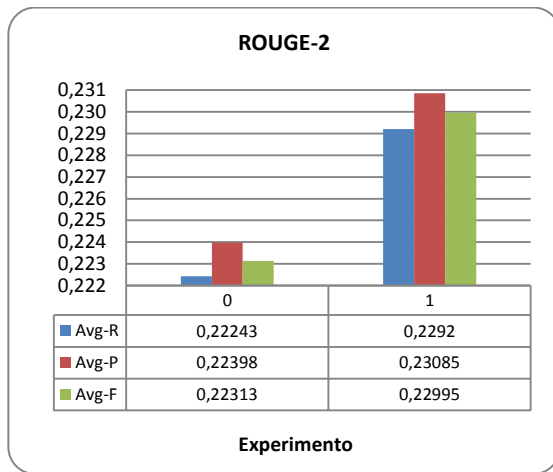
En este grupo, se realizaron dos experimentos, el primero corresponde a la línea base, que consiste en formar el resumen con las 100 primeras palabras del documento, y el segundo corresponde al criterio de selección de acuerdo a la combinación de las características de *Posición, Longitud, Relación Con El Título, Cohesión y Cobertura (CriterioPLRCC)*. En la Tabla 119 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos experimentos. Para un análisis más detallado, en las Figuras 307, 308 y 309 se aprecia el comportamiento de estos experimentos.

Exp.	Criterio de selección	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
0	Línea Base	0,47395	0,47771	0,47567	0,22243	0,22398	0,22313	0,23922	0,24099	0,24002
1	CriterioPLRCC	0,48246	0,48639	0,48426	0,2292	0,23085	0,22995	0,24512	0,247	0,24597

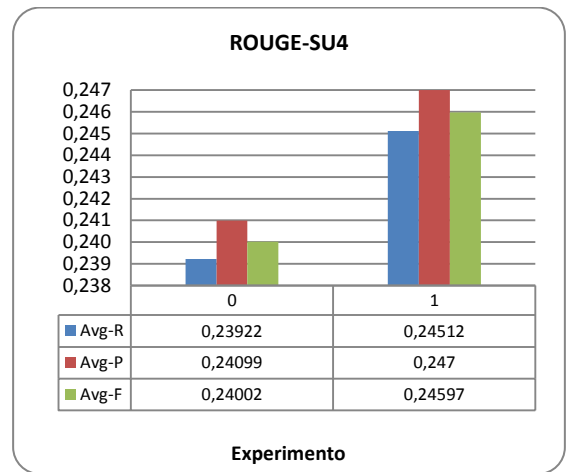
**Tabla 119.** Resultados del primer grupo de criterios de selección con DUC 2002.



**Figura 307.** Primer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 308.** Primer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2



**Figura 309.** Primer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4

Analizando los resultados, observamos que el desempeño más alto lo presenta el Experimento 1. Por esta razón, se decide analizar las posiciones de las frases que conforman el resumen generado. Aunque se cuenta con todos los resultados de los documentos evaluados de DUC 2002, con el fin de facilitar el análisis, en la Tabla 120 se presentan las oraciones que conforman los resúmenes de sólo 10 documentos, seleccionados aleatoriamente, y  $|D|$  significa la cantidad de frases del documento.

Documento	D	Experimento 0	Experimento 1
		Línea Base	Criterio PLRCC
d061j\AP880912-0095	16	0 1 2 3 4 5 6	0 3 7 6 5
d066j\FT923-5068	14	0 1 2 3 4 5 6	0 5 9 6 7
d070f\SJMN91-06353190	10	0 1 2 3 4 5	0 1 3 4 2 7
d071f\WSJ890726-0004	36	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	5 13 9 11 14
d071f\AP880310-0062	13	0 1 2 3 4 5	0 2 1 3 7
d074b\SJMN91-06255434	23	0 1 2 3 4	0 3 2 9
d097e\AP890922-0119	18	0 1 2 3 4	1 0 3 2 4
d097e\RAP890922-0007	38	0 1 2 3	1 0 7
d113h\FT931-2858	29	0 1 2 3 4	0 5 2 3
d113h\FT931-3664	31	0 1 2 3 4	0 4 2 12

**Tabla 120.** Oraciones que forman los resúmenes del primer grupo del criterio de selección de 10 documentos de DUC 2002.

De acuerdo a las oraciones obtenidas, se aprecia que al combinar las cinco características utilizadas en la función objetivo del algoritmo memético no sólo mejoran los resultados de las medidas de ROUGE, sino que además permite que el resumen de algunos documentos este formado no siempre por las primeras oraciones. Sin embargo, se observa que en el resumen de varios documentos prevalecen en mayor cantidad las



oraciones iniciales del documento, comportamiento que motiva el análisis de los siguientes grupos.

#### 4.1.1.2 Segundo grupo

En el segundo grupo, se realizaron cinco experimentos, donde el criterio de selección se basó en el análisis del comportamiento individual de cada una de las cinco características. En la Tabla 121 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos criterios. En las Figuras 310, 311 y 312 se muestran gráficamente estos datos.

Exp.	Criterio de selección	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
1	CriterioPLRCC	0,48246	0,48639	0,48426	0,2292	0,23085	0,22995	0,24512	0,247	0,24597
2	Longitud (L)	0,42295	0,42928	0,42595	0,16527	0,16784	0,16649	0,19241	0,19538	0,19382
3	Relación Tema (RT)	0,45162	0,45604	0,45367	0,19248	0,19415	0,19325	0,21473	0,21671	0,21564
4	Cobertura (Cb)	<b>0,48429</b>	<b>0,48863</b>	<b>0,4863</b>	0,22485	0,22672	0,22571	0,24182	0,24393	0,24279
5	Cohesión (Ch)	0,48411	0,48782	0,4858	<b>0,23071</b>	<b>0,23224</b>	<b>0,2314</b>	<b>0,24632</b>	<b>0,24807</b>	<b>0,24711</b>
6	Posición (P)	0,47398	0,47774	0,47571	0,22247	0,22402	0,22318	0,23926	0,24103	0,24007

Tabla 121. Resultados del segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002.

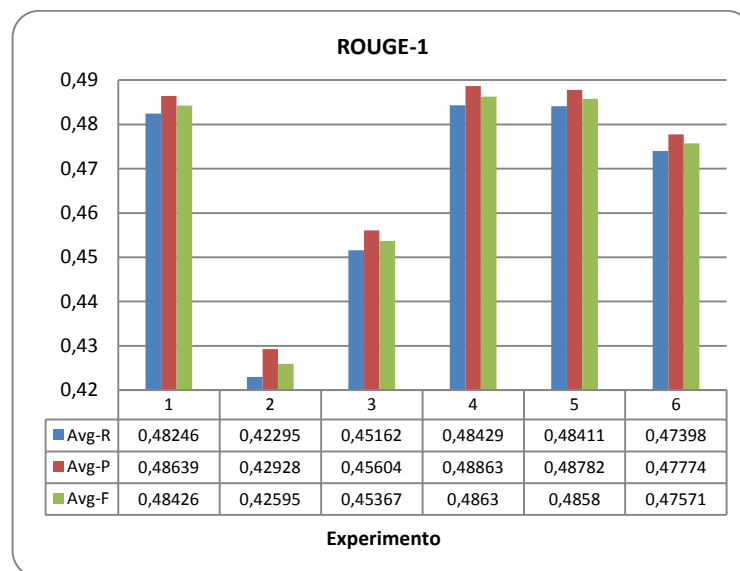
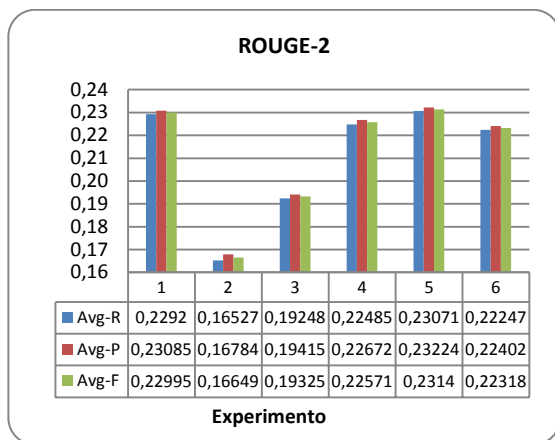
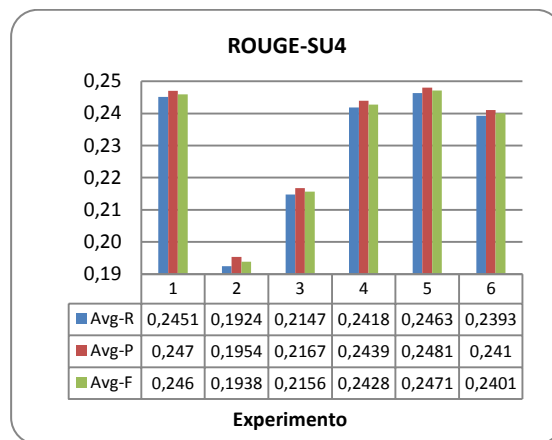


Figura 310. Segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 311.** Segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2



**Figura 312.** Segundo grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4.

En los resultados se puede observar que las tres características que ofrecen mejores resultados, corresponden a *Cohesión*, *Cobertura* y *Posición* (Experimento 5, 4 y 6). Esto, ratifica que dichas características aportan, de forma individual, información relevante para la generación de un resumen, y se presume que mejorarían su comportamiento trabajando conjuntamente. Por lo tanto, se realizó el análisis de las oraciones que forman los resúmenes obtenidos con estas tres características, las cuales se observan en la Tabla 122.

Documento	D	Experimento 1	Experimento 5	Experimento 4	Experimento 6
		CriterioPLRCC	Cohesión	Cobertura	Posición
d061j\AP880912-0095	16	0 3 7 6 5	0 3 7 6 5	0 3 16 10 7	0 1 2 3 4 5 6
d066j\FT923-5068	14	0 5 9 6 7	0 5 9 6 7	0 25 11 5 9 23	0 1 2 3 4 5 6
d070f\SJMN91-06353190	10	0 1 3 4 2 7	0 1 3 4 2 5	7 4 2 3 6 0	0 1 2 3 4 5
d071f\WSJ890726-0004	36	5 13 9 11 14	5 13 9 7 4 11	13 17 5 14	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
d071f\AP880310-0062	13	0 2 1 3 7	1 0 2 3 4 6	0 1 2 7 3	0 1 2 3 4 5
d074b\SJMN91-06255434	23	0 3 2 9	3 0 2 1 9	3 5 2 16 9	0 1 2 3 4
d097e\AP890922-0119	18	1 0 3 2 4	1 0 3 2 4	0 2 1 10 3	0 1 2 3 4
d097e\RAP890922-0007	38	1 0 7	1 0 7	1 4 8 7	0 1 2 3
d113h\FT931-2858	29	0 5 2 3	0 5 3 4	10 6 3 5	0 1 2 3 4
d113h\FT931-3664	31	0 4 2 12	0 4 2 6	13 0 10 12	0 1 2 3 4

**Tabla 122.** Oraciones que forman los resúmenes del segundo grupo del criterio de selección de 10 documentos aleatorios de DUC 2002.

Según las oraciones obtenidas, de acuerdo a la Tabla 122, se observa que el criterio de selección basado en *Cohesión*, permite que el resumen este conformado principalmente por las oraciones iniciales del documento, presentando un comportamiento bastante similar al obtenido con el CriterioPLRCC, pero con mejores resultados en las medidas de ROUGE. Este comportamiento de la *Cohesión*, se atribuye a que para este caso, sin la

utilización del algoritmo memético se analiza el documento en su totalidad, sin limitar su longitud, por lo tanto su cálculo se realiza para todas las oraciones del documento, y no solamente para las oraciones activas de una solución, como se hace en el algoritmo memético, lo que implica que se dé mayor relevancia a las oraciones iniciales del documento de acuerdo al valor obtenido como Cohesión.

Adicionalmente, cabe mencionar que la Cobertura a diferencia de la Cohesión, permite seleccionar oraciones comprendidas en diferentes posiciones del documento, pero sacrifica en cierto porcentaje los resultados de las medidas de ROUGE.

#### 4.1.1.3 Tercer grupo

En este grupo, se realizaron cuatro experimentos, donde el criterio de selección se basa en el análisis del comportamiento de la combinación de la característica de Cobertura con las otras cuatro características que se están analizando. En la Tabla 123 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos criterios. Para un mejor análisis estos resultados se muestran gráficamente en las Figura 313, Figura 314 y Figura 315.

Exp.	Criterio de selección	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
4	Cb	0,48429	<b>0,48863</b>	<b>0,4863</b>	0,22485	0,22672	0,22571	0,24182	0,24393	0,24279
7	Cb+L	0,4817	0,48547	0,48342	0,22852	0,2301	0,22923	0,24434	0,24614	0,24516
8	Cb+RT	0,48374	0,48736	0,48539	0,23022	0,2317	0,23088	0,24606	0,24776	0,24683
9	Cb+P	0,48394	0,48769	0,48565	0,23029	0,23183	0,23098	0,24606	0,24784	0,24687
10	Cb+Ch	<b>0,48446</b>	0,48795	0,48605	<b>0,23079</b>	<b>0,23221</b>	<b>0,23142</b>	<b>0,24667</b>	<b>0,24831</b>	<b>0,24741</b>

Tabla 123. Resultados del tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002.

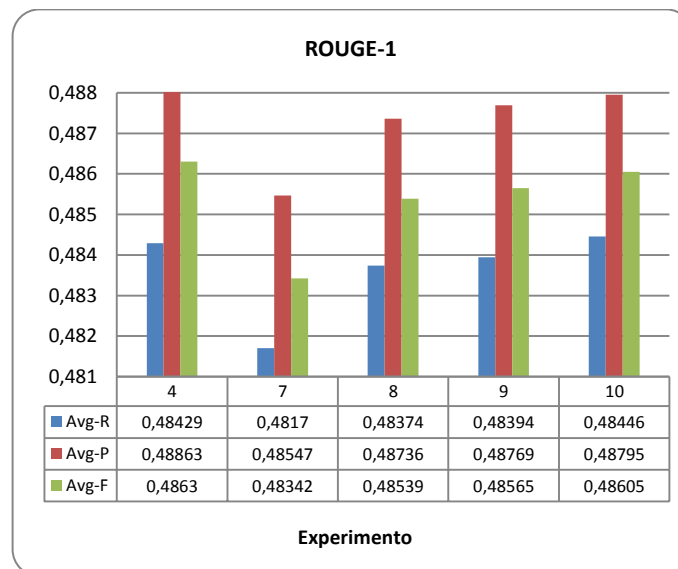
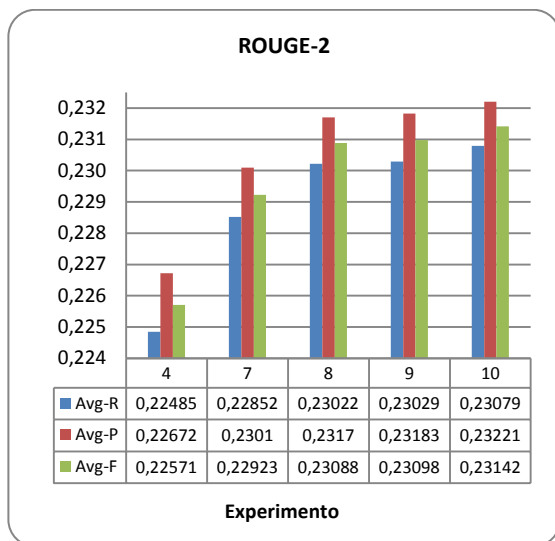
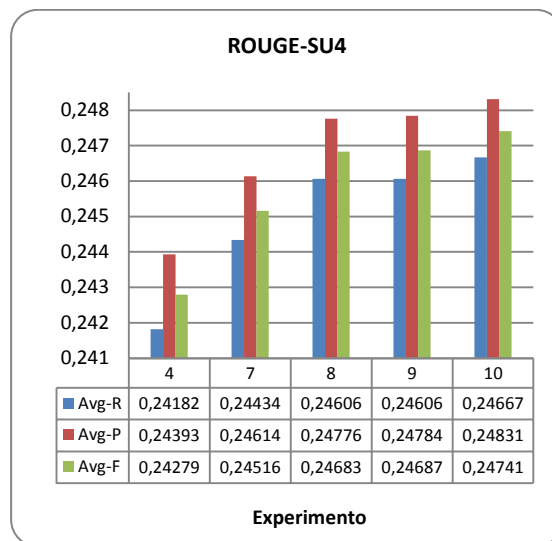


Figura 313. Tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 314.** Tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2



**Figura 315.** Tercer grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4

Según el análisis realizado, se observa que el Experimento 10, en el cual se evaluó el criterio de selección basado en el acoplamiento de la *Cobertura* con la *Cohesión*, supera el mejor resultado obtenido en el grupo anterior donde se consideraba solamente la *Cohesión* (Experimento 5), lo que indica que el trabajo en conjunto de estas dos características se ve reflejado en la generación de un mejor resumen. En la Tabla 124, se presentan las oraciones que conforman el resumen obtenido con el Experimento 4 y 10, para su respectivo análisis.

Documento	D	Experimento 5	Experimento 10
		Ch	Cb+Ch
d061j\AP880912-0095	16	0 3 7 6 5	0 3 7 6 5
d066j\FT923-5068	14	0 5 9 6 7	0 5 9 7 6
d070f\SJMN91-06353190	10	0 1 3 4 2 5	0 1 3 4 2 7
d071f\WSJ890726-0004	36	5 13 9 7 4 11	5 13 9 4 7 11
d071f\AP880310-0062	13	1 0 2 3 4 6	0 1 2 3 4 5
d074b\SJMN91-06255434	23	3 0 2 1 9	3 2 0 5 9
d097e\AP890922-0119	18	1 0 3 2 4	0 1 3 2 5
d097e\RAP890922-0007	38	1 0 7	1 0 7
d113h\FT931-2858	29	0 5 3 4	0 5 3 4
d113h\FT931-3664	31	0 4 2 6	0 4 2 6

**Tabla 124.** Oraciones que forman los resúmenes del tercer grupo del criterio de selección de 10 documentos aleatorios de DUC 2002.

De acuerdo al análisis realizado a las oraciones de los resúmenes generados con el Experimento 10, y comparándolas con los resultados del Experimento 5, se observa que

la Cohesión sigue influyendo en las oraciones que son seleccionadas para el resumen, ya que el Experimento 10 tiene en común la mayoría de las oraciones con el 5.

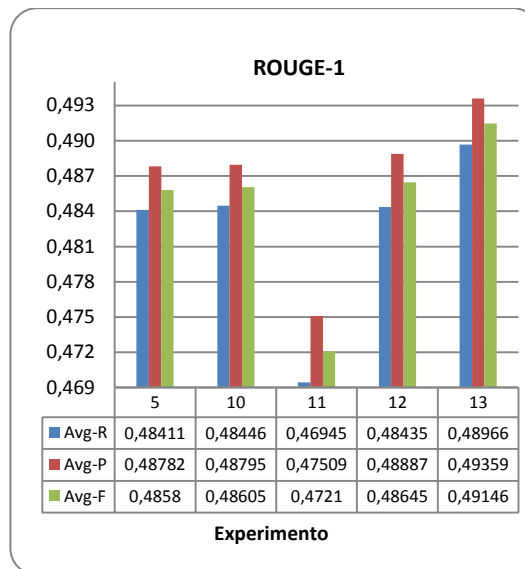
#### 4.1.1.4 Cuarto grupo

De acuerdo a los análisis anteriores, en este grupo, se realizaron tres experimentos, donde el criterio de selección se basa en el análisis del comportamiento de la combinación de la Cohesión con las otras cuatro características que se están analizando. En la Tabla 125 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos criterios.

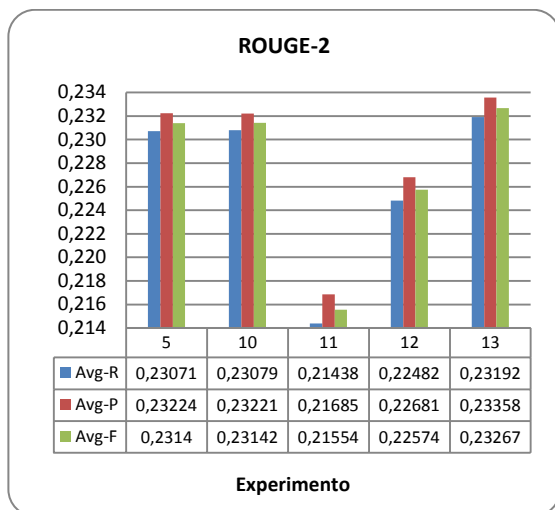
Exp.	Criterio de selección	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
5	Ch	0,48411	0,48782	0,4858	0,23071	0,23224	0,2314	0,24632	0,24807	0,24711
10	Ch+Cb	0,48446	0,48795	0,48605	0,23079	0,23221	0,23142	0,24667	0,24831	0,24741
11	Ch+L	0,46945	0,47509	0,4721	0,21438	0,21685	0,21554	0,23312	0,23591	0,23443
12	Ch+RT	0,48435	0,48887	0,48645	0,22482	0,22681	0,22574	0,24187	0,2441	0,2429
13	Ch+P	0,48966	0,49359	0,49146	0,23192	0,23358	0,23267	0,24772	0,2496	0,24858

**Tabla 125.** Resultados del cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002.

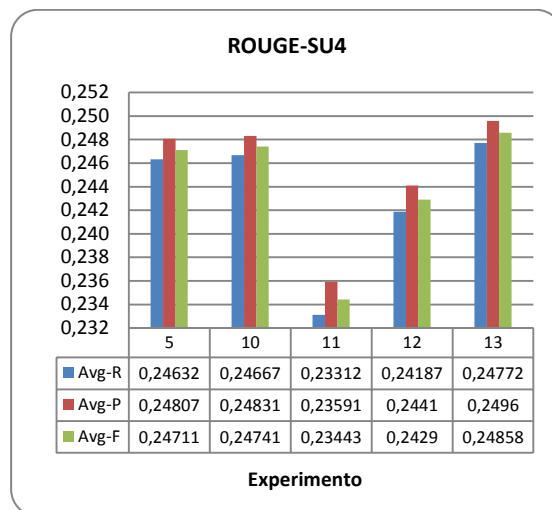
En las Figuras 316, 317 y 318, se muestran gráficamente estos datos.



**Figura 316.** Cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 317.** Cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2



**Figura 318.** Cuarto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que el mejor desempeño se obtuvo con el Experimento 13, en el cual se evaluó el criterio de selección basado en el acoplamiento de *Cohesión y Posición*, superando el mejor resultado obtenido en el grupo anterior donde se consideraba *Cobertura y Cohesión* conjuntamente (Exp. 10). En la Tabla 126, se presentan las oraciones que conforman el resumen obtenido con el Experimento 10 y 13, para su respectivo análisis.

Documento	D	Experimento 10	Experimento 1
		Ch + Cb	Ch + P
d061j\AP880912-0095	16	0 3 7 6 5	0 3 7 6 5
d066j\FT923-5068	14	0 5 9 7 6	0 5 9 6 7
d070f\SJMN91-06353190	10	0 1 3 4 2 7	0 1 3 4 2 5
d071f\WSJ890726-0004	36	5 13 9 4 7 11	5 13 9 7 4 11
d071f\AP880310-0062	13	0 1 2 3 4 5	1 0 2 3 4 6
d074b\SJMN91-06255434	23	3 2 0 5 9	3 0 2 1 9
d097e\AP890922-0119	18	0 1 3 2 5	1 0 3 2 4
d097e\RAP890922-0007	38	1 0 7	1 0 7
d113h\FT931-2858	29	0 5 3 4	0 5 3 4
d113h\FT931-3664	31	0 4 2 6	0 4 2 6

**Tabla 126.** Oraciones que forman los resúmenes del cuarto grupo del criterio de selección de 10 documentos aleatorios de DUC 2002.

Analizando las oraciones de los resúmenes generados con el Experimento 10 y Experimento 13, y teniendo en cuenta los buenos resultados presentados por este último, se observa que el buen desempeño obtenido está asociado, en gran medida, a la posición de las oraciones que conforman el resumen, pues, como se citó anteriormente, el cálculo individual de la *Cohesión* tiende a favorecer las oraciones iniciales del documento, por lo

que el hecho de que al trabajar conjuntamente con la Posición incrementa los resultados obtenidos confirma la importancia de las oraciones iniciales en el conjunto de datos evaluado. Así mismo, se observa que solamente con realizar una simple variación en el orden de las oraciones del resumen es suficiente para mejorar su calidad.

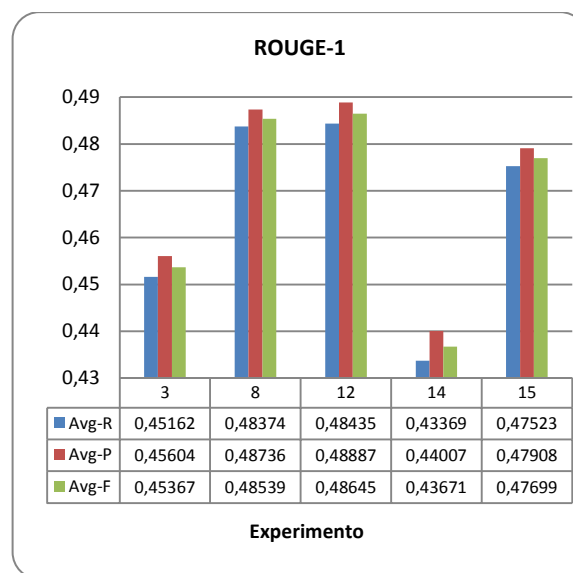
#### 4.1.1.5 Quinto grupo

En este grupo, se realizaron dos experimentos, donde el criterio de selección se basa en el análisis del comportamiento de la combinación de la característica de Relación con el título con las otras cuatro características que se están analizando. En la Tabla 127 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos criterios.

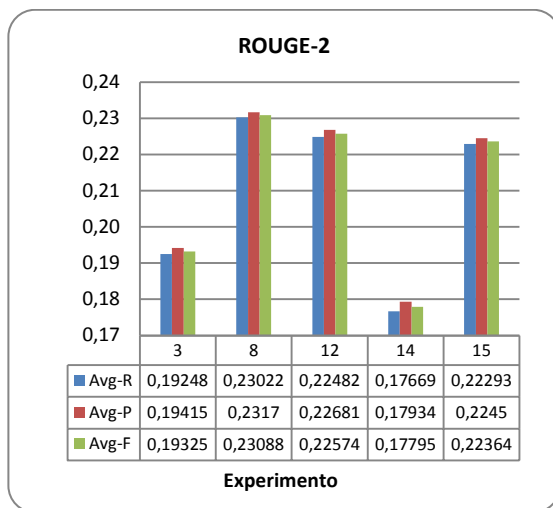
Exp.	Criterio de selección	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
3	RT	0,45162	0,45604	0,45367	0,19248	0,19415	0,19325	0,21473	0,21671	0,21564
8	RT+Cb	0,48374	0,48736	0,48539	<b>0,23022</b>	<b>0,2317</b>	<b>0,23088</b>	<b>0,24606</b>	<b>0,24776</b>	<b>0,24683</b>
12	RT+Ch	<b>0,48435</b>	<b>0,48887</b>	<b>0,48645</b>	0,22482	0,22681	0,22574	0,24187	0,2441	0,2429
14	RT+L	0,43369	0,44007	0,43671	0,17669	0,17934	0,17795	0,2018	0,20483	0,20324
15	RT+P	0,47523	0,47908	0,47699	0,22293	0,2245	0,22364	0,23931	0,2411	0,24013

**Tabla 127.** Resultados del quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002.

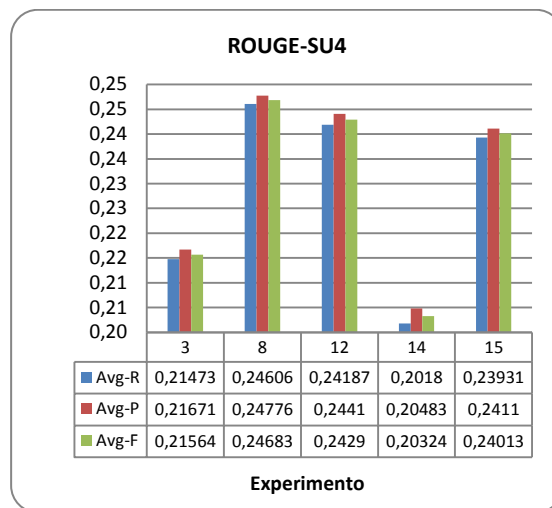
Para un mejor análisis, estos resultados se muestran gráficamente en las Figuras 319, 320 y 321.



**Figura 319.** Quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 320.** Quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2



**Figura 321.** Quinto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados obtenidos, el Experimento 8 es el que ofrece el mejor desempeño con un criterio de selección basado en la Relación con el título, sin embargo no logró superar los resultados del Experimento 13 del grupo anterior, por lo tanto no se consideró necesario realizar el análisis de las oraciones del resumen.

#### 4.1.1.6 Sexto grupo

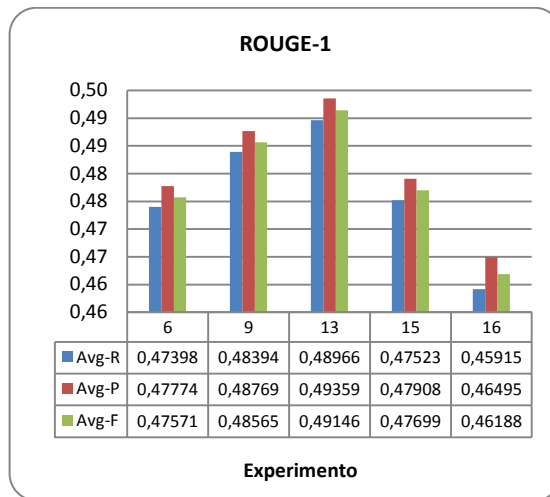
En este grupo, se realizó un experimento, donde el criterio de selección se basa en el análisis del comportamiento de la combinación de la característica de Posición con las otras cuatro características que se están analizando. En la Tabla 128 se presentan los resultados obtenidos para cada uno de estos criterios.

Exp.	Criterio de selección	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
6	P	0,47398	0,47774	0,47571	0,22247	0,22402	0,22318	0,23926	0,24103	0,24007
9	PC+b	0,48394	0,48769	0,48565	0,23029	0,23183	0,23098	0,24606	0,24784	0,24687
13	PC+h	<b>0,48966</b>	<b>0,49359</b>	<b>0,49146</b>	<b>0,23192</b>	<b>0,23358</b>	<b>0,23267</b>	<b>0,24772</b>	<b>0,2496</b>	<b>0,24858</b>
15	P+RT	0,47523	0,47908	0,47699	0,22293	0,2245	0,22364	0,23931	0,2411	0,24013
16	P+L	0,45915	0,46495	0,46188	0,20612	0,20863	0,2073	0,22582	0,22865	0,22715

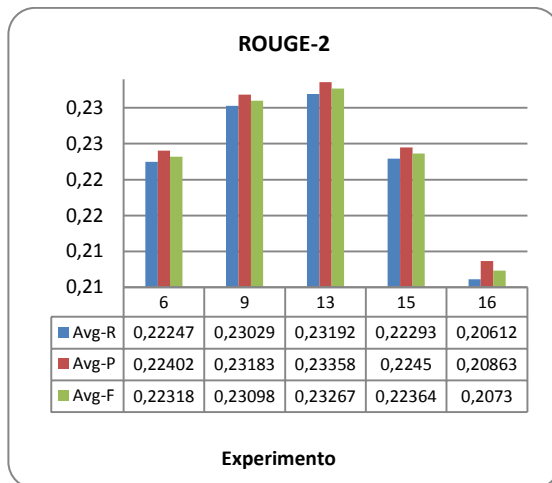
**Tabla 128.** Resultados del sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002.

En las Figuras 322, 323 y 324 se presentan gráficamente estas cifras.

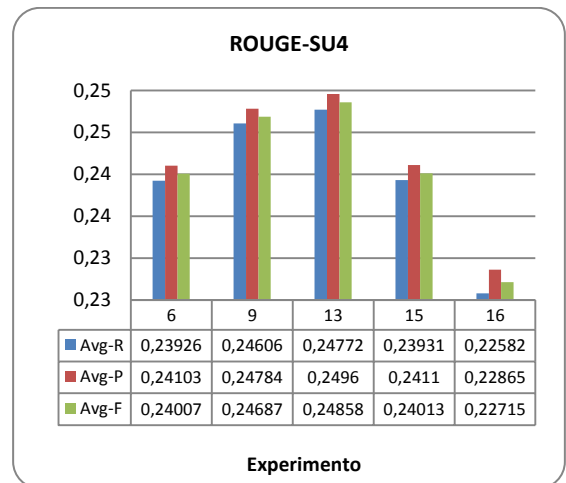




**Figura 322.** Sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 323.** Sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-2



**Figura 324.** Sexto grupo del criterio de selección con DUC 2002, ROUGE-SU4

En este último grupo de experimentos, se observa nuevamente que el mejor desempeño lo sigue ofreciendo el Experimento 13, donde se consideró el criterio de selección basado en Cohesión y Posición, para seleccionar el orden de las oraciones que conformaran el resumen final que será evaluado por ROUGE. Con estos experimentos se observó el incremento en el desempeño que presenta la Posición al trabajar en acople con la Cohesión y la Cobertura.

#### 4.1.2 EVALUACIÓN DEL CRITERIO DE SELECCIÓN CON EL MA

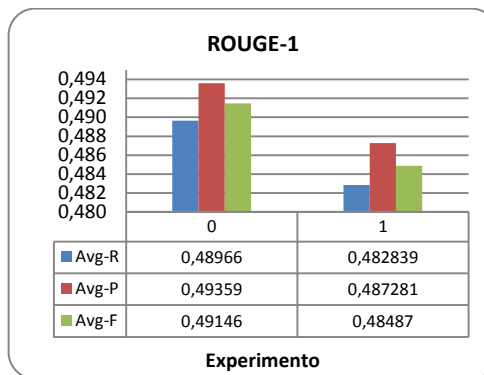
De acuerdo a los resultados obtenidos sin la utilización del algoritmo memético, se observó la importancia de la Posición y la Cohesión como criterios de selección de las oraciones para el conjunto de datos evaluado, llegando a un desempeño superior al obtenido con el MA propuesto. Por ello, en la Tabla 129 se recopilan los resultados con el

mejor criterio de selección basado en el acople de la Cohesión y la Posición obtenido en la Sección 4.1.1.4, correspondiente al Experimento 13 (abreviado ahora como *CS\_CP*), junto al resultado que se obtuvo con el algoritmo memético en la sección 3.2.5 tras la optimización de pesos (Exp. 22), cuyo criterio de ordenamiento de las frases al final de la ejecución del MA, considera las cinco características de la función objetivo como se explicó al inicio de esta sección en la Ecuación (14) (abreviado ahora como *CS\_PLRCC*). Estos experimentos, de ahora en adelante, se identificarán como Experimento 0 y Experimento 1, respectivamente.

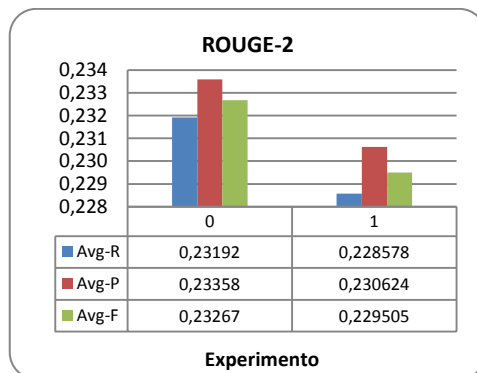
Exp.	Método	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
0	CS_CP	0,48966	0,49359	0,49146	0,23192	0,23358	0,23267	0,24772	0,2496	0,24858
1	MA (CS_PLRCC)	0,482839	0,487281	0,48487	0,228578	0,230624	0,229505	0,244643	0,246893	0,245664

**Tabla 129.** Resultados de los experimentos sin y con MA con DUC 2002.

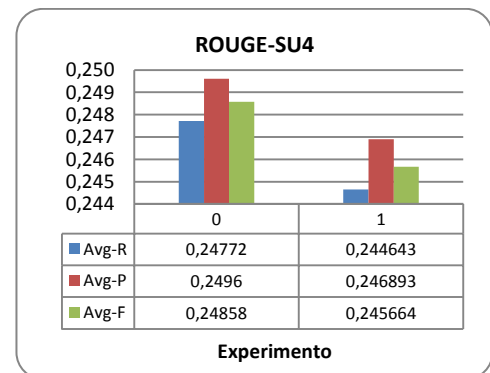
Para un mejor análisis, estos resultados se muestran gráficamente en las Figuras 325, 326 y 327.



**Figura 325.** Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 326.** Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-2



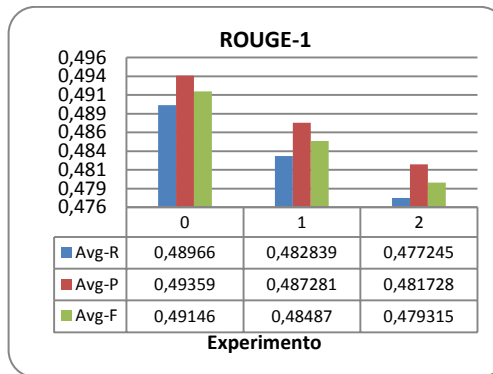
**Figura 327.** Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-SU4

En las gráficas se observa claramente, que los resultados obtenidos al utilizar el método basado en el criterio de selección con Cohesión y Posición, son mucho mejores que los obtenidos con la última configuración del algoritmo memético, en el cual se usa el criterio de ordenamiento basado en CS\_PLRCC. Por lo tanto, se decidió probar el algoritmo memético con el criterio de selección basado en Cohesión y Posición, con el fin de observar si su comportamiento mejora. En la Tabla 130, se muestran los resultados obtenidos.

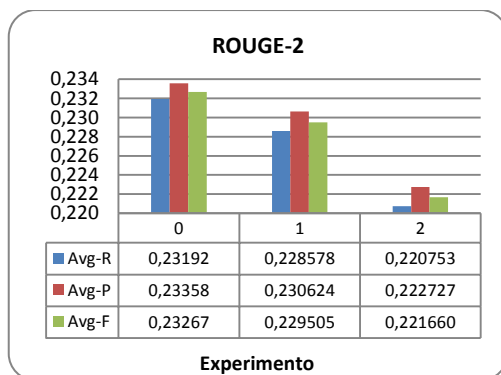
Exp.	Método	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
0	CS_CP	0,48966	0,49359	0,49146	0,23192	0,23358	0,23267	0,24772	0,2496	0,24858
1	MA (CS_PLRCC)	0,482839	0,487281	0,48487	0,228578	0,230624	0,229505	0,244643	0,246893	0,245664
2	MA (CS_CP)	0,477245	0,481728	0,479315	0,220753	0,222727	0,221660	0,238732	0,240941	0,239747

**Tabla 130.** Resultados de los experimentos sin y con MA con DUC 2002.

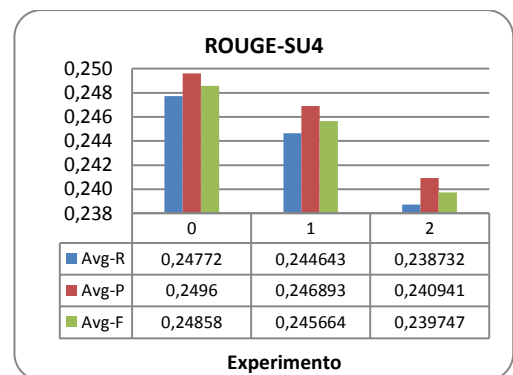
En las Figuras 328, 329 y 330, se muestran gráficamente estos datos.



**Figura 328.** Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-1



**Figura 329.** Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-2



**Figura 330.** Experimentos sin y con MA con DUC 2002, ROUGE-SU4

Según los resultados obtenidos, se ratifica el buen desempeño que la Posición junto al cálculo de la Cohesión ofrecen al trabajar sobre todas las oraciones del documento y no sobre una cierta cantidad. El comportamiento de estos resultados junto al tipo de estructura de los datos evaluados, sugirió que la información más relevante se encontraba en las oraciones iniciales de los documentos, por lo que este método, por su simplicidad, puede considerarse como una buena opción para documentos con dicho tipo de estructura, pero su generalización a otro tipo de documentos, diferente a noticias de DUC, no presentará el mismo buen desempeño, pues la información más importante no siempre se encuentra consignada en las primeras oraciones del documento. Por lo tanto, ya que el algoritmo memético contempla en su función objetivo otro tipo de características como: longitud, relación con el título, cobertura y cohesión, éste puede llegar a obtener un mejor desempeño al ser utilizado con otros tipos de documentos, lo cual hace que sea un algoritmo más prometedor, ya que no depende del tipo de estructura de los documentos.

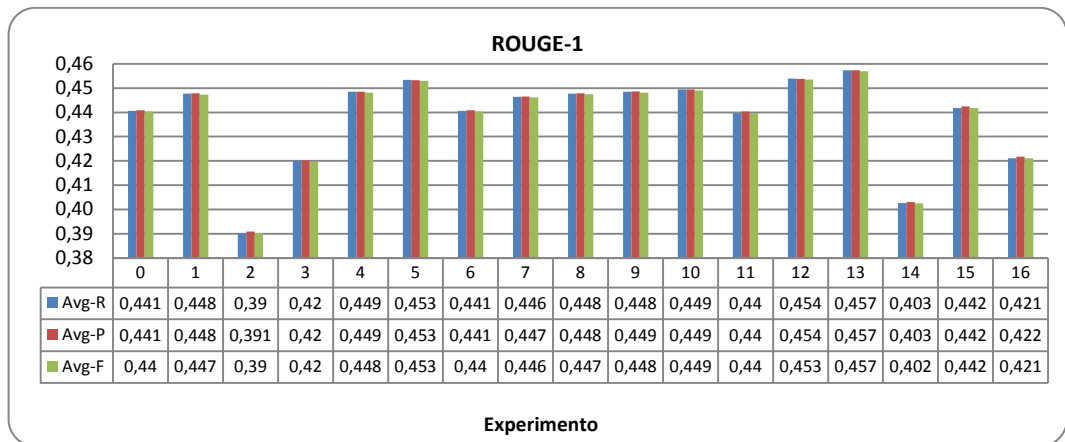
## 4.2 ANÁLISIS CON DUC 2001

### 4.2.1 Elección del criterio

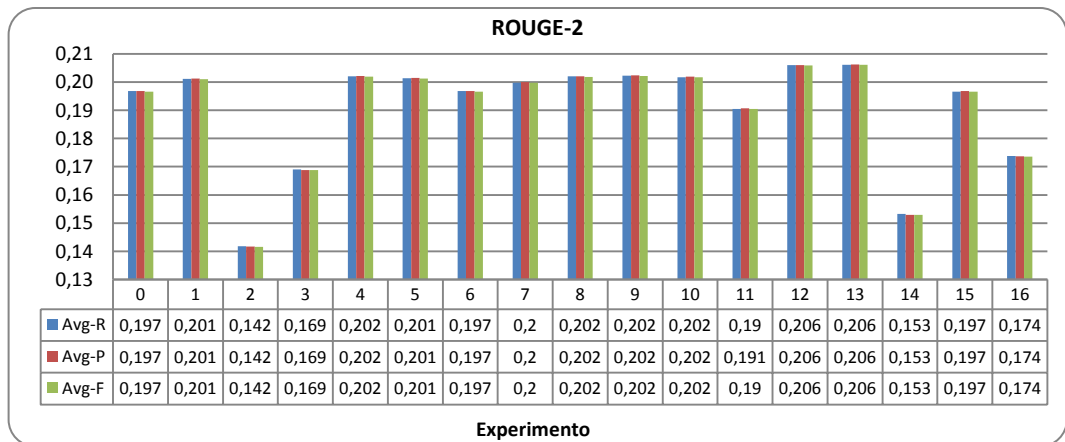
En la Tabla 131 se presentan los resultados obtenidos evaluando los criterios antes presentados, con los datos de DUC2001. Para un análisis más detallado, en las Figuras 331, 332 y 333 se aprecia el comportamiento de estos experimentos.

Exp.	Criterio de selección	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
0	Línea Base	0,44066	0,44087	0,4404	0,19679	0,19677	0,19663	0,21944	0,21953	0,21931
1	PLRCC	0,44767	0,44779	0,44737	0,20106	0,20117	0,20096	0,22333	0,22348	0,22323
2	L	0,3902	0,39092	0,3902	0,14182	0,1417	0,14164	0,17118	0,17126	0,17106
3	RT	0,42005	0,42013	0,4197	0,16901	0,16884	0,16877	0,19592	0,19591	0,19574
4	Cb	0,44854	0,44852	0,44816	0,20201	0,20209	0,20189	0,22361	0,22372	0,22349
5	Ch	0,45342	0,45324	0,45298	0,20134	0,20143	0,20124	0,22455	0,22459	0,2244
6	P	0,44066	0,44087	0,4404	0,19679	0,19677	0,19663	0,21944	0,21953	0,21931
7	Cb+L	0,44634	0,44654	0,44608	0,19977	0,19997	0,19972	0,22238	0,22258	0,2223
8	Cb+RT	0,44774	0,4478	0,4474	0,20196	0,20203	0,20184	0,22341	0,22352	0,22329
9	Cb+P	0,44846	0,4486	0,44817	0,20226	0,20236	0,20216	0,22369	0,22384	0,22359
10	Cb+Ch	0,44939	0,44949	0,44907	0,20172	0,2019	0,20165	0,2236	0,22378	0,22351
11	Ch+L	0,43965	0,44037	0,43965	0,19046	0,19072	0,19044	0,21453	0,21487	0,21452
12	Ch+RT	0,45388	0,45378	0,45347	0,20601	0,20603	0,20587	0,22673	0,22678	0,22658
13	Ch+P	<b>0,45729</b>	<b>0,45736</b>	<b>0,45696</b>	<b>0,20615</b>	<b>0,20626</b>	<b>0,20605</b>	<b>0,22808</b>	<b>0,22817</b>	<b>0,22795</b>
14	R+TL	0,40263	0,40302	0,40247	0,15327	0,15296	0,15298	0,18175	0,18162	0,18152
15	R+TP	0,44181	0,44243	0,44176	0,19654	0,19679	0,19652	0,21907	0,21939	0,21905
16	P+L	0,42106	0,42177	0,42106	0,17374	0,17371	0,17359	0,19903	0,19916	0,19893

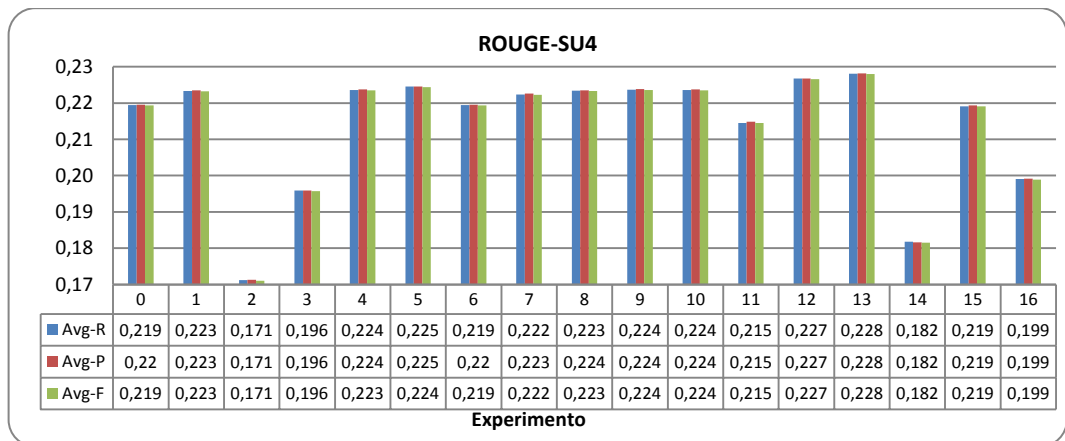
Tabla 131. Resultados de los criterios de selección con DUC 2001.



**Figura 331.** Criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-1

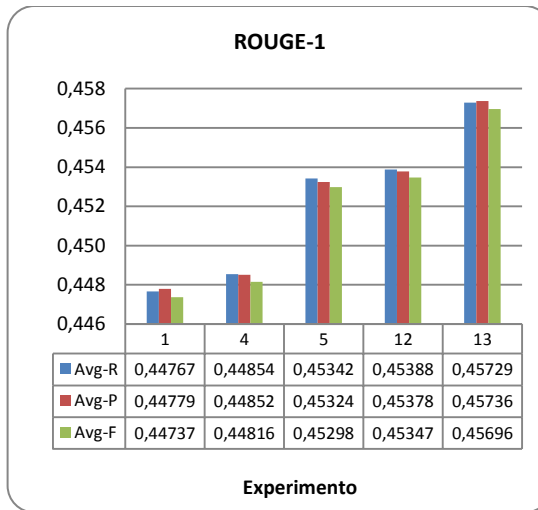


**Figura 332.** Criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-2

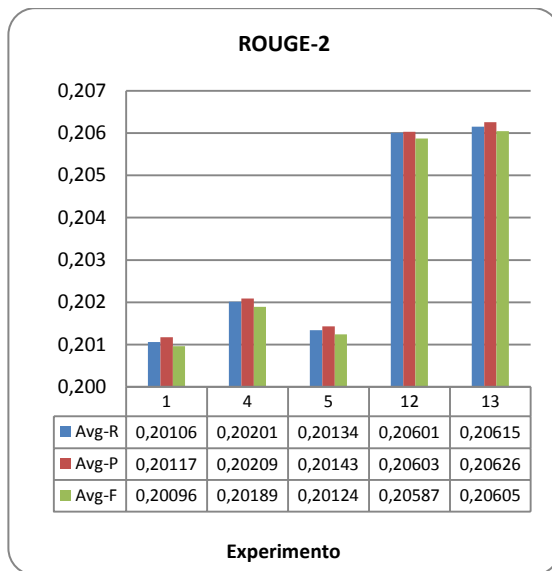


**Figura 333.** Criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-SU4

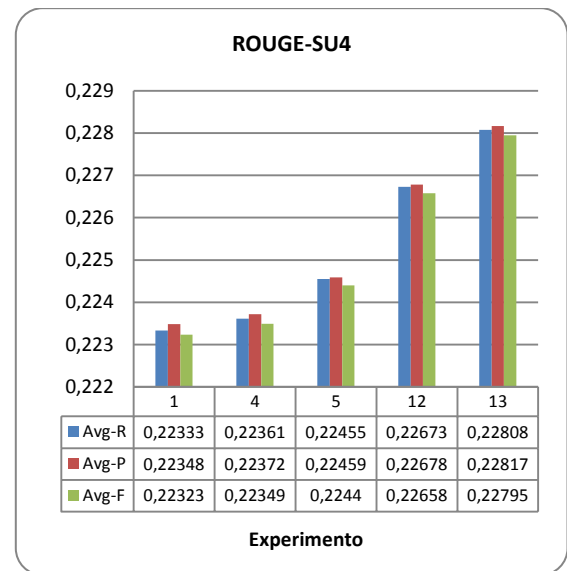
En las Figuras 334, 335 y 336, se observa el comportamiento de los cinco mejores experimentos, con el fin de detallar más fácilmente cuál de ellos se destacó.



**Figura 334.** Cinco mejores criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-1



**Figura 335.** Cinco mejores criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-2



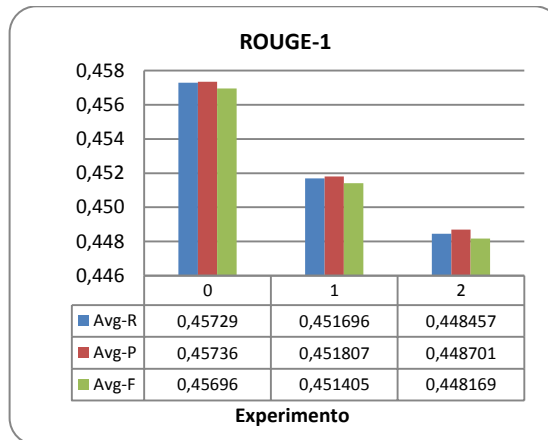
**Figura 336.** Cinco mejores criterio de selección con DUC 2001, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados, se observa el mismo comportamiento que con los datos de DUC 2002, destacándose el experimento 13, en el cual se evaluó el criterio de selección basado en Cohesión y Posición. Por lo tanto, se realizan los experimentos correspondientes para probar el algoritmo memético con el criterio de selección basado en Cohesión y Posición. En la Tabla 132, se muestran los resultados obtenidos.

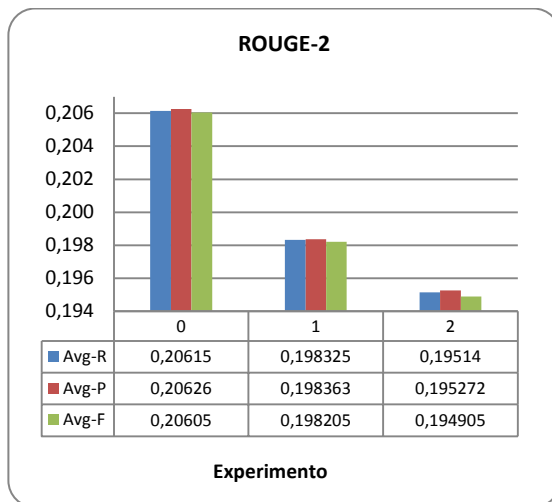
Exp.	Método	ROUGE-1			ROUGE-2			ROUGE-SU4		
		Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F	Avg-R	Avg-P	Avg-F
0	CS_CP	0,45729	0,45736	0,45696	0,20615	0,20626	0,20605	0,22808	0,22817	0,22795
1	MA (CS_PLRCC)	0,451696	0,451807	0,451405	0,198325	0,198363	0,198205	0,222169	0,222218	0,222033
2	MA (CS_CP)	0,448457	0,448701	0,448169	0,19514	0,195272	0,194905	0,216218	0,216755	0,215983

**Tabla 132.** Resultados de los experimentos sin y con MA con DUC 2001

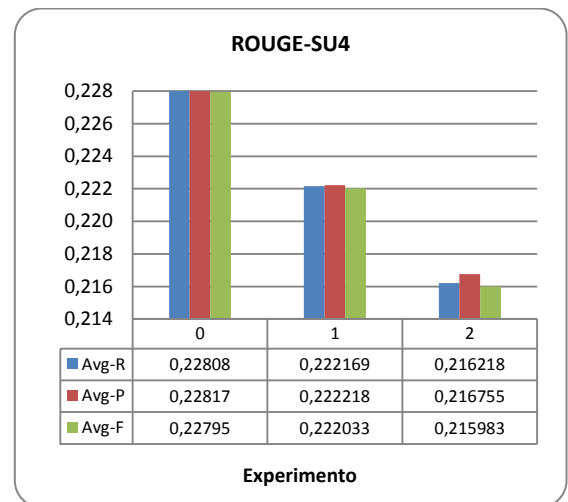
En las Figuras 337, 338 y 339 se muestran gráficamente estos datos.



**Figura 337.** Experimentos sin y con MA con DUC 2001, ROUGE-1



**Figura 338.** Experimentos sin y con MA con DUC 2001, ROUGE-2



**Figura 339.** Experimentos sin y con MA con DUC 2001, ROUGE-SU4

De acuerdo a los resultados obtenidos, nuevamente se ratifica el análisis realizado anteriormente con el conjunto de datos de DUC2002.

## ***BIBLIOGRAFÍA***

---

- [1] L. Eshelman and D. Schaffer, "Preventing Premature Convergence in Genetic Algorithms by Preventing Incest," in Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms, 1991, pp. 115-122.
- [2] D. E. Goldberg, Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989.
- [3] D. Beasley, D. R. Bull, and R. R. Martin, "An Overview of Genetic Algorithms: Part 1, Fundamentals," 1993.
- [4] T. Blickle and L. Thiele, "A Comparison of Selection Schemes Used in Genetic Algorithms," 1995.
- [5] J. H. Holland, Adaptation in natural and artificial systems: The university of Michigan Press, 1975.
- [6] N. M. Razali and G. John, "Genetic Algorithm Performance with Different Selection Strategies in Solving TSP," Proceedings of The World Congress on Engineering, vol. 2, 2011.
- [7] A. Wetzel, "Evaluation of the Effectiveness of Genetic Algorithms in Combinatorial Optimization," University of Pittsburgh, 1983.
- [8] D. Goldberg and K. Deb, "A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms," in Foundations of Genetic Algorithms, 1991, pp. 69-93.
- [9] S. Sánchez Caballero, "Optimización estructural y topológica de estructuras morfológicamente no definidas mediante algoritmos genéticos," in Departamento de Ingeniería mecánica y de materiales. vol. Ph.D Valencia: Universidad de Valencia, 2012, p. 398.
- [10] J. E. Baker, "An analysis of the effects of selection in genetic algorithms," Vanderbilt University, 1989.
- [11] P. J. B. Hancock, "An Empirical Comparison of Selection Methods in Evolutionary Algorithms," 1994.
- [12] C. Reeves, F. Glover, and G. Kochenberger, "Genetic Algorithms," in Handbook of Metaheuristics. vol. 57: Springer New York, 2003, pp. 55-82.
- [13] V. Yanibelli, "Algoritmos Genéticos y Meméticos," Instituto de Sistemas Tandil, Buenos Aires RR001-2007, 2007.
- [14] K. De Jong, "Analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems," University of Michigan, 1975.
- [15] G. Harik, "Finding Multimodal Solutions Using Restricted Tournament Selection," in Proceedings of the 6th International Conference on Genetic Algorithms, 1995, pp. 24-31.
- [16] A. P. Alves da Silva, "Tutorial on Genetic Algorithms," Journal of the Brazilian Neural Network Society Learning and Nonlinear Models, vol. 1, pp. 43-58, 2002.
- [17] G. Syswerda, "Uniform Crossover in Genetic Algorithms," in Proceedings of the 3rd International Conference on Genetic Algorithms: Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1989.



- [18] N. J. Radcliffe, "Forma Analysis and Random Respectful Recombination," ICGA'91, pp. 222-229, 1991.
- [19] Y. Kaya, M. Uyar, and R. Tekin, "A Novel Crossover Operator for Genetic Algorithms: Ring Crossover," CoRR, vol. abs/1105.0355, 2011.
- [20] M. Gestal Pose, "Introducción a los algoritmos genéticos," p. 16, 2005.
- [21] J. Koza, Genetic programming: on the programming of computers by means of natural selection: MIT Press, 1992.
- [22] W. Banzhaf, "The "molecular" traveling salesman," Biological cybernetics, 1990.
- [23] D. B. Fogel, "An evolutionary approach to the traveling salesman problem," Biological cybernetics, vol. 9, pp. 139-144, 1988.
- [24] Z. Michalewicz Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs. Berlin, 1992.
- [25] C. García Martínez, "Algoritmos genéticos locales," in Departamento de Ciencias de la Computación Granada: Universidad de Granada, 2008.
- [26] M. Lozano, F. Herrera, and J. R. n. Cano, "Replacement strategies to preserve useful diversity in steady-state genetic algorithms," Information Sciences, vol. 178, pp. 4421-4433, 2008.
- [27] L. Davis, Handbook of Genetic Algorithms, 1991.
- [28] K. De Jong and J. Sarma, "Generation gaps revisited," Foundations of Genetic Algorithms, vol. 2, pp. 19-28, 1993.
- [29] D. Poole and A. Mackworth, "Local Search," in Artificial Intelligence: Foundations of computational agents, C. U. Press, Ed. Cambridge, 2010.
- [30] E. H. L. Aarts and P. J. M. van Laarhoven, "Local search in coding theory," Discrete Mathematics, vol. 106-107, pp. 11-18, 1992.
- [31] T. Stützle, "Local Search Algorithms for Combinatorial Problems - Analysis, Algorithms and New Applications," TU Darmstadt, 1999.
- [32] J. J. Domínguez Jiménez, "Búsquedas Genéticas: Métodos de Optimización Global y optimización Combinatoria," in Departamento de Lenguajes y Sistemas Informáticos. vol. PhD Cádiz: Universidad de Cádiz, 2008, p. 292.
- [33] C. Blum and A. Roli, "Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison," ACM Comput. Surv., vol. 35, pp. 268-308, 2003.
- [34] B. Selman, "Greedy Local Search," in MIT Encyclopedia of the Cognitive Sciences, R. A. W. a. F. C. Keil, Ed. Cambridge, 1999, pp. 357-359.
- [35] C. Wilt, J. Thayer, and W. Ruml, "A Comparison of Greedy Search Algorithms," Proceedings of the Third Annual Symposium on Combinatorial Search, 2010.
- [36] P. Hansen and N. Mladenovic, "Variable neighborhood search: Principles and applications," European Journal of Operational Research, vol. 130, pp. 449-467, 2001.
- [37] P. Hansen and N. Mladenovic, "Variable Neighborhood Search," in Handbook of Metaheuristics. vol. 57: Springer US, 2003, pp. 145-184.
- [38] J. A. Moreno and N. Maldenovic, "Búsqueda por Entornos Variables para Planificación Logística," in Procedimientos Metaheurísticos en Economía y Empresa, T. I. Blanch, Ed. Valencia, 2007, pp. 239-263.

- [39] C. Voudouris and E. Tsang, "Guided Local Search," University of Essex, Colchester CSM-247, 1995.
- [40] C. Voudouris and E. Tsang, "Guided local search and its application to the traveling salesman problem," *European Journal of Operational Research*, vol. 113, pp. 469-499, March 1999.
- [41] F. Glover, "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence," *Computers and Operations Research*, vol. 13, pp. 533-549, 1986.
- [42] F. Glover and B. Melián-Batista, "Búsqueda Tabú," *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, vol. 7, pp. 29-48, 2003.
- [43] F. Glover, M. Laguna, and M. R., "Principles of Tabu Search," in *Approximation Algorithms and Metaheuristics*, T. González, Ed.: Chapman & Hall/CRC, 2007, pp. 23,1-12.
- [44] H. Lourenco, O. Martin, and T. Stutzle, "A Beginner's Introduction to Iterated Local Search," in *Proceedings of MIC 2001*, 2001.
- [45] O. J. Ibarra Rojas, O. L. Chacón Mondragón, Y. A. Ríos Solis, and M. A. Saucedo Espinosa, "Programación pieza-molde-máquina en planeación de la producción," *CIENCIA-UANL*, vol. 15, pp. 59-65, 2012.
- [46] E. Tsang and C. Voudouris, "Fast local search and guided local search and their application to British Telecom's workforce scheduling problem," *Operations Research Letters*, vol. 20, pp. 119-127, 1997.
- [47] R. Brandow, K. Mitze, and L. F. Rau, "Automatic condensation of electronic publications by sentence selection," *Information Processing & Management*, vol. 31, pp. 675-685, 1995.
- [48] E. Villatoro Tello, "Generación automática de resúmenes de múltiples documentos," Méjico: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, 2007, p. 114.
- [49] R. Alguliev, R. Aliguliyev, M. Hajirahimova, and C. Mehdiyev, "MCMR: Maximum coverage and minimum redundant text summarization model," *Expert Systems with Applications*, vol. In Press, Corrected Proof, 2011.
- [50] M. S. Binwahlan, N. Salim, and L. Suanmali, "Swarm Based Text Summarization," in *Computer Science and Information Technology - Spring Conference, 2009. IACSITSC '09*. International Association of, 2009, pp. 145-150.
- [51] J. M. González, "Los textos periodísticos," in *Las variedades temáticas del texto*. vol. 1, A. d. letras, Ed. Sevilla, 2010.
- [52] P. Fergó, "La Importancia Del Título Para El Éxito Internacional De Un Libro." vol. 2013, A. C. Literatura, Ed., 2012.
- [53] S. Falla Aroche, "¿Qué importancia tiene el título en un post?." vol. 2013, 2008.
- [54] E. Jara Casco, "La selección del título en el artículo científico," *Revista Cubana de Medicina General Integral*, vol. 15, pp. 342-345, 1999.
- [55] X. Wan, "Towards a Unified Approach to Simultaneous Single-Document and Multi-Document Summarizations," *Proceedings of the 23rd International Conference on Computational Linguistics (Coling 2010)*, pp. 1137-1145, August 2010.

- [56] C.-Y. Lin and E. Hovy, "Identifying topics by position," Proceedings of the fifth conference on Applied natural language processing, pp. 283-290, 1997.
- [57] V. Qazvinian, L. Sharif, and R. Halavati, "Summarising text with a genetic algorithm-based sentence extraction," International Journal of Knowledge Management Studies (IJKMS), vol. 2, pp. 426-444, 2008.
- [58] E. Shareghi and L. S. Hassanabadi, "Text summarization with harmony search algorithm-based sentence extraction," in Proceedings of the 5th international conference on Soft computing as transdisciplinary science and technology Cergy-Pontoise, France, 2008.
- [59] D. Sudholt, "Computational complexity of evolutionary algorithms, hybridizations, and swarm intelligence.," Dortmund University of Technology, 2008.
- [60] C. R. Reeves, "Using Genetic Algorithms With Small Populations," Proceedings of the Fifth International Conference on Genetic Algorithms, pp. 92-99, 1993.