CAPÍTULO 5

Resultados computacionales

En este capítulo se presentan los resultados numéricos de las pruebas efectuadas con el algoritmo propuesto, con la finalidad de evaluar su desempeño. El programa diseñado para la implementación de la relajación Lagrangeana fue desarrollado en el lenguaje de programación C.

El equipo utilizado para el desarrollo de estas pruebas tiene las siguientes características: servidor de marca Sun Microsystems, modelo Enterprice 10000, sistema, operativo Solaris 2.6, 8 CPU´s a 400MHZ cada uno, 4GB de Ram, un disco duro de 916 GB.

Se utilizaron las instancias de Beasley de los problemas de la p-mediana capacitados disponibles en http://people.brunel.ac.uk/~mastjjb/jeb/orlib/pmedcapinfo.html, especificando distintos valores para el radio de cobertura.

Para evaluar el desempeño de la relajación Lagrangeana con el método **ULM** para resolver el **CMCLP** se aplicaron instancias definidas para el problema de la p-mediana. Así mismo, se utilizó un método exacto (AMPL) para encontrar el óptimo y tener punto de comparación sobre los algoritmos propuestos.

Las instancias que se probaron para resolver el **CMCLP** se presentan en la tabla 5.1. Esta tabla contiene los problemas a analizar, obtenidos de la instancias de Beasley, el número de vértices para cada problema, los valores *p* y los distintos valores del radio de cobertura propuesto δ utilizados.

Conjunto de Problemas	**Número de Vértices**	**Valores de *p***	**Valores de δ**
p1.dat	50	5	10,20
p2.dat	50	5	12,16
p3.dat	50	5	15,20
p5.dat	50	5	10,20
p6.dat	50	5	10,20
p12.dat	100	10	9,15
p13.dat	100	10	7,14
p15.dat	100	10	10,14
p17.dat	100	10	17,18
p19.dat	100	10	8,17

Tabla 5.1 Instancias probadas.

En la tabla 5.2 se presentan los resultados obtenidos para solucionar el problema **pCMP** con la metodología propuesta. En la tabla, LB, denota el valor de la mejor cota inferior encontrada; UB, denota el valor de la mejor cota superior encontrada, el valor de δ los radios de cobertura y gap_{LB} y gap_{OPT}, se refieren a las desviaciones porcentuales de las cotas superiores obtenidas con respecto a la mejor cota inferior y a la solución óptima, respectivamente.

$$gap_{LB} = \frac{(UB - LB)}{LB} \times 100 \qquad gap_{OPT} = \frac{(UB - OPT)}{OPT} \times 100$$

No. problemas	Conjunto de Problemas	Valores de δ	Óptimo pCMP (AMPL)	UB (pCMP)	LB (pCMP)	gap_{LB}	gap_{OPT}
1	p1.dat	10	241	241	240.99	0.00	0.00
2	p1.dat	20	65	67	64.97	3.13	3.08
3	p2.dat	10	261	261	260.97	0.01	0.00
4	p2.dat	15	191	191	190.97	0.02	0.00
5	p3.dat	12	221	221	220.94	0.03	0.00
6	p3.dat	16	131	131	130.97	0.02	0.00
7	p5.dat	15	150	150	149.99	0.00	0.00
8	p5.dat	20	55	55	54.94	0.11	0.00
9	p6.dat	10	342	342	342.00	0.00	0.00
10	p6.dat	20	106	106	105.85	0.15	0.00
11	p12.dat	9	364	364	363.03	0.27	0.00
12	p12.dat	15	107	107	106.59	0.38	0.00
13	p13.dat	7	510	510	509.87	0.03	0.00
14	p13.dat	17	166	177	163.23	8.44	6.63
15	p15.dat	10	415	415	414.16	0.20	0.00
16	p15.dat	14	191	192	190.89	0.58	0.52
17	p18.dat	9	470	470	469.83	0.04	0.00
18	p18.dat	14	203	203	202.45	0.27	0.00
19	p19.dat	8	487	488	486.62	0.28	0.21
20	p19.dat	17	43	44	42.56	3.39	2.33
				Desviación porcentual promedio		0.87	0.64

Tabla 5.2 Resultados de la metodología propuesta para el **pCMP**.

Como se puede observar la metodología propuesta para la obtención de cotas inferiores y cotas superiores para el problema **pCMP** es de alta calidad, ya que en la mayoría de los casos probados encuentra el óptimo; es decir que de los 20 problemas a probar en 17 se localizó el valor óptimo, pero además las desviaciones promedios son menores al 1%.

En los problemas donde el gap es mayor a la unidad, no se encontró el valor óptimo; estos son: el problema No. 2, No. 14 y No. 20 (ver tabla 5.2); analizando estos resultados, los problemas que poseen 100 vértices (No. 14 y No. 20) fueron más difíciles de resolver que los problemas de 50 vértices, ya que en los problemas grandes, de 100 vértices, en 8 de 10 encuentra el óptimo, y de los problemas de 50 vértices en 9 de 10 encuentra el óptimo.

En la tabla 5.3, se analizan únicamente los resultados obtenidos en las cotas inferiores ya que se puede observar en la tabla 5.1 que estos resultados están muy cercanos al óptimo. En esta tabla, LB, denota el valor de la mejor cota inferior encontrada; el valor de δ los radios de cobertura, y error, se refiere a la diferencia existente entre el valor óptimos y cota inferior.

No. problemas	Conjunto de Problemas	Valores de δ	Óptimo pCMP (AMPL)	LB (pCMP)	Error (Óptimo - LB)
1	p1.dat	10	241	240.99	0.01
2	p1.dat	20	65	64.97	0.03
3	p2.dat	10	261	260.97	0.03
4	p2.dat	15	191	190.97	0.03
5	p3.dat	12	221	220.94	0.06
6	p3.dat	16	131	130.97	0.03
7	p5.dat	15	150	149.99	0.01
8	p5.dat	20	55	54.94	0.06
9	p6.dat	10	342	342.00	0.00
10	p6.dat	20	106	105.85	0.15
11	p12.dat	9	364	363.03	0.97
12	p12.dat	15	107	106.59	0.41
13	p13.dat	7	510	509.87	0.13
14	p13.dat	17	166	163.23	2.77
15	p15.dat	10	415	414.16	0.84
16	p15.dat	14	191	190.89	0.11
17	p18.dat	9	470	469.83	0.17
18	p18.dat	14	203	202.45	0.55
19	p19.dat	8	487	486.62	0.38
20	p19.dat	17	43	42.56	0.44
				Error promedio	0.36

Tabla 5.4 Análisis de la cota inferior obtenida.

Note que la relajación Lagrangeana desarrollada en esta tesis produce cotas inferiores de muy buena calidad, ya que en el 95% de los casos probados se logró obtener el valor óptimo (error menor a la unidad). Además el gap_{LB} promedio es de 0.86%(ver tabla 5.2).

En lo que respecta la cota superior obtenida, su análisis se muestra en la tabla 5.5.

No. problemas	Conjunto de Problemas	Valores de δ	Óptimo pCMP (AMPL)	UB (pCMP)	Error (UB- Óptimo)
1	p1.dat	10	241	241	0
2	p1.dat	20	65	67	2
3	p2.dat	10	261	261	0
4	p2.dat	15	191	191	0
5	p3.dat	12	221	221	0
6	p3.dat	16	131	131	0
7	p5.dat	15	150	150	0
8	p5.dat	20	55	55	0
9	p6.dat	10	342	342	0
10	p6.dat	20	106	106	0
11	p12.dat	9	364	364	0
12	p12.dat	15	107	107	0
13	p13.dat	7	510	510	0
14	p13.dat	17	166	177	11
15	p15.dat	10	415	415	0
16	p15.dat	14	191	192	1
17	p18.dat	9	470	470	0
18	p18.dat	14	203	203	0
19	p19.dat	8	487	488	1
20	p19.dat	17	43	44	1
				Error promedio	0.8

Tabla 5.5 Análisis de la cota superior obtenida.

Se observa que la heurística primal usada en cada iteración de la optimización subgradiente para encontrar la cota superior es de buena calidad, ya que en el 75% de los casos encuentra el valor óptimo.

Comparando los errores promedios de las tablas 5.4 y 5.5, se encontró que el error de las cotas superiores es mayor al de las cotas inferiores, lo que indica que ésta puede ser mejorada aplicando una heurística complementaria.

No. problemas	Conjunto de Problemas	Valores de δ	Demanda agregada	UB (pCMP)	CMCLP Modelo propuesto	Óptimo CMCLP (AMPL)	Error
1	p1.dat	10	490	241	249	249	0
2	p1.dat	20	490	67	423	425	2
3	p2.dat	10	502	261	241	241	0
4	p2.dat	15	502	191	311	311	0
5	p3.dat	12	512	221	291	291	0
6	p3.dat	16	512	131	381	381	0
7	p5.dat	15	541	150	391	391	0
8	p5.dat	20	541	55	486	486	0
9	p6.dat	10	550	342	208	208	0
10	p6.dat	20	550	106	444	444	0
11	p12.dat	9	1017	364	653	653	0
12	p12.dat	15	1017	107	910	910	0
13	p13.dat	7	1033	510	523	523	0
14	p13.dat	17	1033	177	856	867	11
15	p15.dat	10	1050	415	635	635	0
16	p15.dat	14	1050	192	858	859	1
17	p18.dat	9	1071	470	601	601	0
18	p18.dat	14	1071	203	868	868	0
19	p19.dat	8	1085	488	597	598	1
20	p19.dat	17	1085	44	1041	1042	1
						Error promedio	0.8

Tabla 5.6 Resultados de la metodología propuesta para el **CMCLP.**

Como se puede observar en la tabla 5.6, la diferencia entre la demanda agregada y *v*(**pCMP**), corresponde al valor de **CMCLP;** por lo tanto, se comprueba que existe una equivalencia entre ambos modelos; también nótese, que el error promedio entre el valor óptimo del **CMCLP** y el **CMCLP** del modelo propuesto $(\sum_{j \in J} h_j - \mathbf{pCMP})$ es de 0.8 (menor a la unidad), lo que indica que la metodología propuesta genera soluciones de buena calidad; esto es, en el 75 % de los problemas probados se obtiene el óptimo (15 de 20 problemas) y el porcentaje restante está cercano al valor óptimo.