

Heurísticas Greedy: Localización de Servicios

García Prado, Sergio
sergio@garciparedes.me

29 de marzo de 2017

Resumen

[TODO]

1. INTRODUCCIÓN

[TODO]

6. SET-COVERING PROBLEM

El problema de *Set Covering* o *Cubrimiento de Conjuntos* consiste en la asignación de un conjunto de recursos n recursos x_j cuyo uso tiene un coste de c_j para cumplir m necesidades. Las necesidades que cubre cada recurso se representan a través de a_{ij} . La modelización matemática de este problema se muestra en la ecuación (1).

$$\begin{aligned} \text{Minimizar} \quad & \sum_{j=1}^n c_j x_j \\ \text{sujeto a} \quad & \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \geq 1, \quad i = 1, \dots, m \\ & x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \tag{1}$$

Ecuación 1: *Formulación de Set-Covering Problem.*

[TODO describir heurísticas]

```
nfilcub := 0
while(nfilcub < m) do
  forall(j in servicios | fijada(j) = 0) do
    d(j) := 0
    forall(i in demandas) do
      if(cubierta(i) = 0 and a(i,j) = 1) then
        d(j) := d(j) + 1
      end-if
    end-do
    if(d(j) = 0) then
      fijada(j) := 1
      solu(j) := 0
    end-if
  end-do
  aux := -99
  forall(j in servicios | fijada(j) = 0) do
    if(d(j) > aux) then
      aux := d(j)
      jmax := j
    end-if
  end-do
  solu(jmax) := 1
  fijada(jmax) := 1
  forall(i in demandas) do
    if(cubierta(i) = 0 and a(i, jmax) = 1) then
      cubierta(i) := 1
      nfilcub := nfilcub + 1
    end-if
  end-do
end-do
```

Figura 1: *[TODO]*

[TODO describir heurísticas]

```
forall(i in demandas) do
  w(i):=0
  forall(j in servicios) do
    if(solu(j)=1 and a(i,j)=1)then
      w(i):=w(i)+1
    end-if
  end-do
end-do
forall(k in servicios | solu(k)=1) do
  elimin := 1
  forall(i in demandas) do
    if(w(i) < 1+a(i,k))then
      elimin := 0
    end-if
  end-do
  if(elimin=1) then
    solu(k) := 0
    forall(i in demandas)w(i):=w(i)-a(i,k)
  end-if
end-do
```

Figura 2: *[TODO]*

[TODO describir heurísticas]

```
forall(j in servicios) k_marca(j):=0
forall(k in k_iter) do
  aux := -99
  forall(j in servicios | (solu(j) = 0 and k_marca(j) = 0)) do
    if(aux < partial_sums(j)) then
      aux := partial_sums(j)
      jmax := j
    end-if
  end-do
  k_marca(jmax):=1
  k_list(k):=jmax
end-do
k_win := ceil(random*k_max)
selected := k_list(k_win)
```

Figura 3: *[TODO]*

6.1 Ejercicio Nueva York

En este caso, se ha propuesto resolver el problema de *Cubrimiento de Conjuntos* sobre un conjunto de datos de entrada referidos a las distancias entre 30 distritos de la ciudad de Nueva York. Se considera que un distrito ha sido cubierto si la distancia a un punto de servicio es menor o igual que un determinado valor dc denominado distancia de cubrimiento. En este caso se ha resuelto para valores enteros comprendidos en el intervalo $[70, 120]$ mediante la estrategia *Greedy* y la de *Solución Óptima*. Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en la figura 4 y de manera tabular en la tabla 1

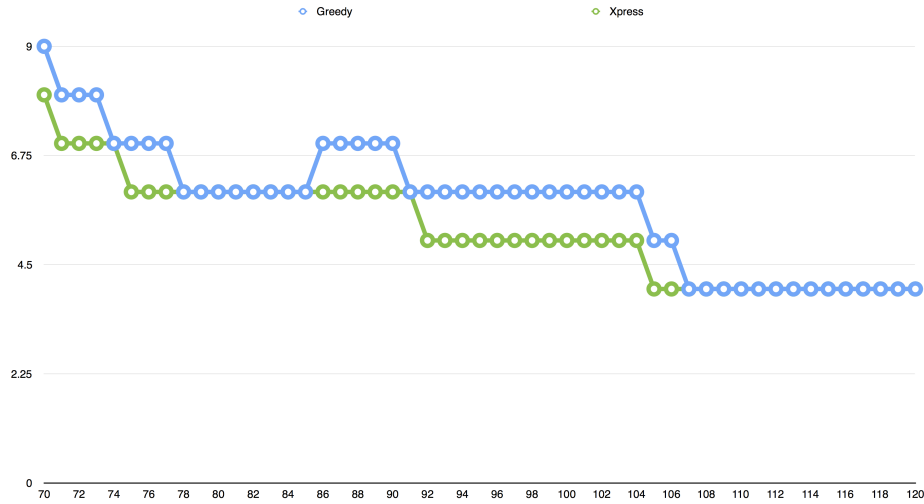


Figura 4: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos de los distritos de la ciudad de Nueva York

6.2 Ejercicio *aint1*

En este caso, se ha propuesto resolver el problema de *Cubrimiento de Conjuntos* sobre un conjunto de datos de entrada de tamaño relativamente elevado, con $m = 356$ puntos de demanda y $n = 22$ puntos de servicio. Se considera que un distrito ha sido cubierto si la distancia a un punto de servicio es menor o igual que un determinado valor dc denominado distancia de cubrimiento. En este caso se ha resuelto para valores enteros comprendidos en el intervalo $[250, 400]$ mediante la estrategia *Greedy*, la estrategia *Greedy Aleatorizada* (con parámetros $k = 5$ y $n = 100$) y la de *Solución Óptima*. Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en la figura 5 y de manera tabular en las tablas 2, 3 y 4.

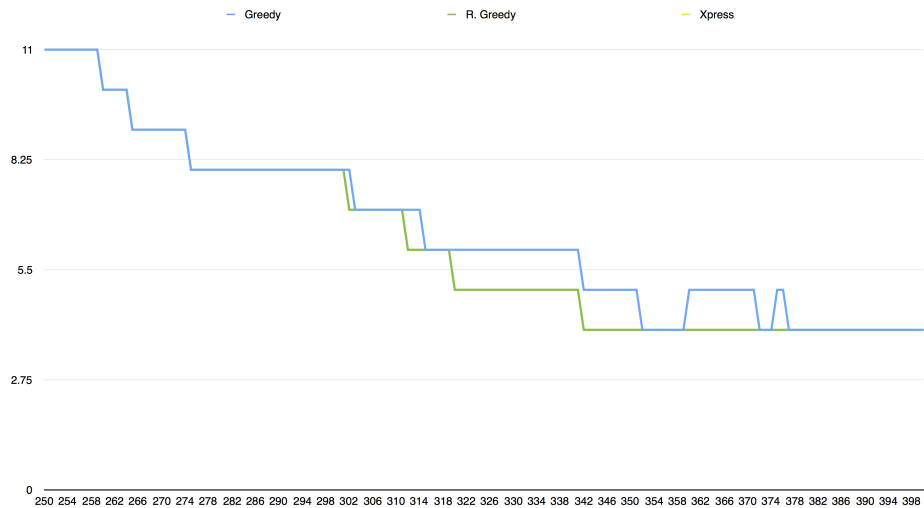


Figura 5: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos aint1

6.3 Ejercicio *aint5*

En este caso, se ha propuesto resolver el problema de *Cubrimiento de Conjuntos* sobre un conjunto de datos de entrada de tamaño relativamente elevado, con $m = 328$ puntos de demanda y $n = 19$ puntos de servicio. Se considera que un distrito ha sido cubierto si la distancia a un punto de servicio es menor o igual que un determinado valor dc denominado distancia de cubrimiento. En este caso se ha resuelto para valores enteros comprendidos en el intervalo $[250, 400]$ mediante la estrategia *Greedy*, la estrategia *Greedy Aleatorizada* (con parámetros $k = 5$ y $n = 100$) y la de *Solución Óptima*. Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en la figura 6 y de manera tabular en las tablas 5, 6 y 7.



Figura 6: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos *aint5*

DC	Greedy	Greedy Opened	Xpress	Xpress opened
70	9	1 4 5 7 9 12 13 16 18	8	3 4 5 9 12 13 26 27
71	8	1 5 7 9 13 14 16 18	7	1 3 5 9 13 14 27
72	8	1 5 7 9 13 14 16 18	7	1 3 5 9 13 14 27
73	8	1 5 7 9 13 14 16 18	7	1 3 5 9 13 14 27
74	7	1 5 7 13 14 16 18	7	1 2 3 5 13 14 27
75	7	1 5 7 13 14 16 18	6	5 6 13 14 26 27
76	7	1 5 7 13 16 18 23	6	5 6 13 23 26 27
77	7	1 5 7 13 16 18 23	6	5 6 13 23 26 30
78	6	1 5 7 13 14 27	6	5 6 13 23 26 27
79	6	1 5 7 13 14 27	6	5 6 13 23 26 27
80	6	1 5 7 13 14 27	6	5 6 13 23 26 27
81	6	1 5 7 13 14 27	6	5 6 13 23 26 27
82	6	1 5 7 13 14 27	6	5 6 13 23 26 27
83	6	1 5 7 13 14 27	6	5 6 13 23 26 27
84	6	1 5 7 13 14 27	6	5 7 13 23 26 27
85	6	1 5 7 13 14 27	6	5 6 13 23 26 27
86	7	1 5 7 13 16 18 23	6	5 6 13 23 26 27
87	7	1 5 7 13 16 18 23	6	5 10 13 16 23 26
88	7	1 5 7 13 16 18 23	6	5 7 13 23 26 27
89	7	1 5 7 13 16 18 23	6	5 7 13 23 26 27
90	7	1 3 5 13 14 16 24	6	1 5 7 13 23 27
91	6	1 5 13 14 24 27	6	1 2 5 13 23 27
92	6	1 5 7 13 14 16	5	1 5 13 23 27
93	6	1 5 7 13 14 16	5	1 5 13 23 27
94	6	1 5 10 13 16 23	5	1 5 13 23 27
95	6	1 5 10 12 13 16	5	1 5 12 13 27
96	6	1 5 10 12 13 16	5	1 5 12 13 27
97	6	1 5 10 12 13 16	5	1 5 12 13 27
98	6	1 5 10 12 13 16	5	1 5 12 13 27
99	6	1 5 10 12 13 16	5	1 5 12 13 27
100	6	1 5 10 12 13 16	5	5 12 13 20 27
101	6	1 2 3 12 13 29	5	2 12 13 20 27
102	6	1 2 7 12 13 16	5	2 12 13 27 28
103	6	1 2 7 12 13 16	5	2 12 13 27 28
104	6	1 2 7 12 13 16	5	12 13 17 20 27
105	5	2 7 12 13 16	4	2 12 13 27
106	5	2 7 12 13 16	4	2 12 25 27
107	4	4 13 17 29	4	2 12 25 27
108	4	4 13 17 29	4	2 10 12 13
109	4	4 13 17 29	4	2 10 12 13
110	4	4 13 17 29	4	2 10 12 13
111	4	2 4 13 29	4	2 12 13 27
112	4	2 3 12 13	4	2 12 13 27
113	4	2 3 12 13	4	2 12 13 27
114	4	2 3 12 13	4	2 12 13 27
115	4	2 3 12 13	4	2 12 13 27
116	4	2 3 12 13	4	2 12 13 27
117	4	2 7 12 13	4	2 12 13 27
118	4	2 7 12 13	4	2 12 13 18
119	4	2 7 12 13	4	2 12 13 18
120	4	2 7 12 13	4	2 8 22 30

Tabla 1: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos de los distritos de la ciudad de Nueva York

dc	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	Xpress	Xpress Opened
250	11	1 2 5 8 9 11 13 14 15 17 18	11	11	1 2 3 8 9 11 13 14 15 17 18
251	11	1 2 5 8 9 11 13 14 15 17 18	11	11	1 2 3 8 9 11 13 14 15 17 18
252	11	1 2 5 8 9 11 14 15 16 17 18	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
253	11	1 2 5 8 9 11 14 15 16 17 18	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
254	11	1 2 5 8 9 11 14 15 16 17 18	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
255	11	1 2 5 8 9 11 14 15 16 17 18	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
256	11	1 2 5 8 9 11 14 15 16 17 18	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
257	11	1 2 8 9 11 14 15 16 17 18 22	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
258	11	1 2 8 9 11 14 15 16 17 18 22	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
259	11	1 2 8 9 11 14 15 16 17 18 22	11	11	1 2 3 8 9 11 14 15 16 17 18
260	10	1 2 8 9 11 14 16 17 18 22	10	10	1 2 3 8 9 11 14 16 17 18
261	10	1 2 8 9 11 14 16 17 18 22	10	10	1 2 3 8 9 11 14 16 17 18
262	10	1 2 8 9 11 14 16 17 18 22	10	10	1 2 3 8 9 11 14 16 17 18
263	10	1 2 8 9 11 14 16 17 18 22	10	10	1 2 3 8 9 11 14 16 17 18
264	10	1 2 8 9 11 14 16 17 18 22	10	10	1 2 3 8 9 11 14 16 17 18
265	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18
266	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18
267	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18
268	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 7 8 9 11 14 17 18
269	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 7 8 9 11 14 17 18
270	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 4 8 9 11 14 17 18
271	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 4 8 9 11 14 17 18
272	9	1 2 3 8 9 11 14 17 18	9	9	1 2 4 8 9 11 14 17 18
273	9	1 2 3 9 11 14 16 17 18	9	9	1 2 4 9 11 14 16 17 18
274	9	1 2 3 9 11 14 16 17 18	9	9	1 2 4 9 11 14 16 17 18
275	8	1 2 7 9 11 14 17 18	8	8	1 2 5 9 11 14 17 18
276	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 5 9 11 14 17 18
277	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 5 9 11 14 17 18
278	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 5 9 11 14 17 18
279	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 5 9 11 14 17 18
280	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 5 9 11 14 17 18
281	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 5 9 11 14 17 18
282	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 7 9 14 17 18 19
283	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 7 9 14 17 18 19
284	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 2 7 9 14 17 18 19
285	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 3 9 12 14 17 18 19
286	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 3 9 12 14 17 18 19
287	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 9 12 14 17 18 19 20
288	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 9 12 14 17 18 19 20
289	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 9 12 14 17 18 19 20
290	8	1 2 3 9 11 14 17 18	8	8	1 9 12 14 17 18 19 20
291	8	2 3 9 11 14 16 17 18	8	8	9 10 12 14 17 18 19 20
292	8	1 2 9 11 14 17 18 22	8	8	1 9 11 12 14 17 18 20
293	8	1 2 9 11 14 17 18 20	8	8	1 9 11 12 14 17 18 20
294	8	1 2 9 11 14 17 18 20	8	8	1 9 11 12 14 17 18 20
295	8	1 2 9 11 14 17 18 22	8	8	1 9 11 12 14 17 18 20
296	8	1 2 9 11 14 17 18 22	8	8	1 2 9 11 14 17 18 20
297	8	1 2 9 11 14 17 18 22	8	8	1 9 11 12 14 17 18 20
298	8	1 2 9 11 14 17 18 22	8	8	9 11 12 14 16 17 18 20
299	8	1 2 9 11 14 17 18 22	8	8	2 9 11 14 16 17 18 20

Tabla 2: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos aint1

dc	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	Xpress	Xpress Opened
300	8	1 2 7 9 11 14 17 18	8	8	2 7 9 11 14 16 17 18
301	8	1 2 7 9 11 14 17 18	8	8	2 7 9 11 14 16 17 18
302	8	1 2 3 6 11 13 17 18	7	7	2 7 9 11 16 17 18
303	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 5 9 11 16 17 18
304	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 9 11 13 16 17 18
305	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 9 11 13 16 17 18
306	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 9 11 13 16 17 18
307	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 9 11 13 16 17 18
308	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 9 11 13 16 17 18
309	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 9 11 13 16 17 18
310	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	9 11 12 13 16 17 18
311	7	1 2 3 9 11 17 18	7	7	2 9 11 13 16 17 18
312	7	1 2 3 9 11 17 18	6	6	2 11 13 16 17 18
313	7	1 2 3 9 11 17 18	6	6	2 11 13 16 17 18
314	7	1 2 3 9 11 17 18	6	6	2 11 13 16 17 18
315	6	2 6 11 13 17 18	6	6	2 6 9 14 17 21
316	6	2 6 11 13 17 18	6	6	2 9 11 16 17 18
317	6	2 6 11 13 17 18	6	6	2 6 11 13 17 18
318	6	2 6 11 13 17 18	6	6	2 6 11 13 17 18
319	6	2 6 9 11 17 18	6	6	2 9 11 16 17 18
320	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
321	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
322	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
323	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
324	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
325	6	2 3 6 9 17 18	5	5	2 11 16 17 18
326	6	2 3 6 9 17 18	5	5	2 11 16 17 18
327	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
328	6	2 6 9 11 17 18	5	5	11 12 16 17 18
329	6	2 6 9 11 17 18	5	5	11 12 16 17 18
330	6	2 6 9 11 17 18	5	5	11 12 16 17 18
331	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
332	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
333	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
334	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
335	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
336	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
337	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
338	6	2 6 9 11 17 18	5	5	2 11 16 17 18
339	6	2 6 9 11 17 18	5	5	11 12 16 17 18
340	6	2 6 9 11 17 18	5	5	11 12 16 17 18
341	6	2 6 9 11 17 18	5	5	11 12 16 17 18
342	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18
343	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18
344	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18
345	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18
346	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18
347	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18
348	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18
349	5	3 6 9 17 18	4	4	11 16 17 18

Tabla 3: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos aint1

dc	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	Xpress	Xpress Opened
350	5	1 11 13 17 18	4	4	11 16 17 18
351	5	1 11 13 17 18	4	4	11 16 17 18
352	4	1 11 17 18	4	4	11 16 17 18
353	4	1 11 17 18	4	4	11 16 17 18
354	4	1 11 17 18	4	4	11 16 17 18
355	4	1 11 17 18	4	4	11 16 17 18
356	4	1 11 17 18	4	4	6 11 17 18
357	4	1 11 17 18	4	4	6 11 17 18
358	4	1 11 17 18	4	4	6 11 17 18
359	4	6 11 17 18	4	4	6 11 17 18
360	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
361	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
362	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
363	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
364	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
365	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
366	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
367	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
368	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
369	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
370	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
371	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
372	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
373	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
374	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
375	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
376	5	6 8 11 18 20	4	4	6 11 17 18
377	4	6 8 11 18	4	4	6 11 17 18
378	4	6 8 11 18	4	4	6 11 17 18
379	4	6 8 11 18	4	4	6 11 17 18
380	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
381	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
382	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
383	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
384	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
385	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
386	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
387	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
388	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
389	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
390	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
391	4	1 8 11 18	4	4	6 11 17 18
392	4	1 8 11 18	4	4	1 11 17 18
393	4	1 8 11 18	4	4	1 11 17 18
394	4	1 8 11 18	4	4	1 11 17 18
395	4	1 8 11 18	4	4	1 11 17 18
396	4	1 8 11 18	4	4	1 11 17 18
397	4	1 8 11 18	4	4	1 11 17 18
398	4	1 8 11 18	4	4	1 11 17 18
399	4	1 8 11 18	4	4	1 8 11 18
400	4	1 8 11 18	4	4	1 8 11 18

Tabla 4: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos aint1

dc	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	R. Greedy Opened	Xpress	Xpress Opened
250	8	1 2 4 5 6 9 13 17	8	1 2 4 5 6 9 13 17	8	1 2 4 5 6 9 13 17
251	8	1 2 4 5 6 9 13 17	8	1 2 4 5 6 7 13 17	8	1 2 4 5 6 7 13 17
252	8	1 2 4 5 6 9 13 17	8	1 2 4 5 6 9 13 17	8	1 2 4 5 6 7 13 17
253	8	1 2 4 5 6 9 13 17	8	1 2 4 5 6 9 13 17	8	1 2 4 5 6 9 13 17
254	7	1 2 5 6 7 13 17	7	1 2 6 9 13 15 17	7	1 2 5 6 9 13 17
255	7	1 2 5 6 7 13 17	7	1 2 6 9 13 15 17	7	1 2 5 6 9 13 17
256	7	1 2 5 6 7 13 17	7	1 2 6 9 13 15 17	7	1 2 5 6 9 13 17
257	7	1 2 5 6 7 13 17	7	1 2 5 6 7 13 17	7	1 2 5 6 9 13 17
258	7	1 2 5 6 7 13 17	7	1 2 6 9 13 15 17	7	1 2 5 6 9 13 17
259	7	1 2 5 6 7 13 17	7	1 2 5 6 9 13 17	7	1 2 5 6 9 13 17
260	7	1 2 3 5 6 13 17	7	1 2 5 6 9 13 17	7	1 2 5 6 9 13 17
261	7	1 2 3 5 6 13 17	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 6 9 13 17
262	7	1 2 3 5 6 13 17	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 6 9 13 17
263	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 3 6 13 17
264	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17
265	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 3 6 13 17
266	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 3 6 13 17
267	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17
268	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17
269	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 3 6 13 17
270	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 6 13 17
271	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 3 6 13 17
272	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 6 9 11 13	6	1 2 3 6 8 13
273	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13
274	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13
275	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 6 9 11 13	6	1 2 3 6 8 13
276	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13
277	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13
278	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 6 9 13 17	6	1 2 3 6 8 13
279	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13
280	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13
281	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 6 8 13
282	6	1 2 3 4 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 4 8 13
283	6	1 2 3 4 8 13	6	1 2 4 9 11 13	6	1 2 4 5 11 13
284	6	1 2 3 4 8 13	6	1 2 6 9 11 13	6	1 2 4 5 11 13
285	6	1 2 3 4 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 4 8 13
286	6	1 2 3 4 8 13	6	1 2 3 6 11 13	6	1 2 3 4 8 13
287	6	1 2 3 4 8 13	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 4 8 13
288	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 4 8 13
289	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 13 14	6	1 2 3 4 8 13
290	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 4 8 13
291	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 13 17	6	1 2 3 4 8 13
292	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 13 14	6	1 2 3 4 11 13
293	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 4 11 13
294	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 11 13	6	1 2 3 4 11 13
295	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 6 9 11 13	6	1 2 3 4 11 13
296	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 13 14	6	1 2 3 4 11 13
297	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 13 14	6	1 2 3 4 11 13
298	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 13 14	6	1 2 3 4 11 13
299	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 13 14	6	1 2 3 4 11 13

Tabla 5: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos aint5

dc	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	R. Greedy Opened	Xpress	Xpress Opened
300	6	1 2 3 4 13 14	6	1 2 3 6 8 13	6	1 2 3 4 11 13
301	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 17	5	1 2 3 6 11
302	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 17	5	1 2 3 6 11
303	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 8	5	1 2 3 6 11
304	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11	5	1 2 3 6 11
305	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 8	5	1 2 3 6 11
306	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11
307	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11	5	1 2 3 6 11
308	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11
309	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11
310	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 8	5	1 2 3 6 11
311	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11	5	1 2 3 6 11
312	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 11
313	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11
314	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 11	5	1 2 3 6 11
315	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11
316	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 11
317	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 11
318	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 14	5	1 2 3 6 11
319	5	1 2 3 6 8	5	1 2 3 6 12	5	1 2 3 6 11
320	5	1 2 3 6 8	5	1 2 5 6 11	5	1 2 3 6 11
321	5	1 3 6 8 16	5	1 5 6 11 16	5	1 3 6 11 16
322	5	1 3 6 8 16	5	1 2 5 6 11	5	1 3 6 11 16
323	5	1 3 6 8 16	5	1 6 9 16 18	5	1 3 6 11 16
324	5	1 3 6 8 16	5	1 3 6 8 16	5	1 3 6 11 16
325	5	1 2 3 6 14	5	1 3 6 14 16	5	1 3 6 11 16
326	5	1 3 6 8 19	5	1 6 7 11 19	5	1 3 6 11 19
327	5	1 3 6 8 19	5	1 6 9 11 16	5	1 3 6 11 19
328	5	1 3 6 8 19	5	1 3 6 14 19	5	1 3 6 11 19
329	5	1 3 6 8 19	5	1 3 6 8 19	5	1 3 6 11 19
330	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19
331	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19
332	4	1 3 4 19	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19
333	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19
334	4	1 3 4 19	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19
335	4	1 3 4 19	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19
336	4	1 3 4 19	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19
337	4	1 3 4 19	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19
338	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19
339	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19
340	4	1 3 4 19	4	1 3 6 19	4	1 3 6 19
341	3	3 4 19	3	3 4 19	3	3 4 19
342	3	3 4 19	3	3 4 19	3	3 4 19
343	3	3 4 19	3	3 4 19	3	3 4 19
344	3	3 4 19	3	3 4 19	3	3 4 19
345	3	3 4 14	3	4 13 14	3	1 13 14
346	3	3 4 14	3	4 13 14	3	1 13 14
347	3	3 4 14	3	1 13 14	3	1 13 14
348	3	3 4 14	3	3 4 14	3	1 13 14
349	3	3 4 14	3	4 13 14	3	3 4 14

Tabla 6: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos aint5

dc	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	R. Greedy Opened	Xpress	Xpress Opened
350	3	3 4 10	3	3 4 10	3	3 4 14
351	3	3 4 10	3	1 13 19	3	3 4 14
352	3	3 4 10	3	1 13 19	3	3 4 14
353	3	3 4 10	3	3 4 14	3	3 4 14
354	3	3 4 10	3	3 4 19	3	3 4 14
355	3	3 4 10	3	3 4 19	3	3 4 14
356	3	3 4 10	3	4 13 19	3	3 4 14
357	3	3 4 10	3	3 4 10	3	3 4 14
358	3	3 4 10	3	4 12 13	3	3 4 14
359	3	3 4 14	3	4 13 14	3	3 4 14
360	3	3 4 10	3	1 12 13	3	3 4 14
361	3	3 4 10	3	3 4 12	3	3 4 14
362	3	3 4 14	3	3 4 14	3	3 4 14
363	3	3 4 14	3	4 12 13	3	3 4 14
364	3	3 4 14	3	1 10 13	3	1 13 14
365	3	3 4 14	3	3 4 10	3	1 13 14
366	3	3 4 14	3	4 12 13	3	1 13 14
367	3	3 4 14	3	3 4 16	3	1 13 14
368	3	3 4 14	3	1 12 13	3	1 13 14
369	3	3 4 14	3	3 4 14	3	1 13 14
370	3	3 4 14	3	1 13 19	3	1 13 14
371	3	3 4 14	3	4 13 14	3	1 13 14
372	3	3 4 14	3	4 10 13	3	1 13 14
373	3	3 4 12	3	1 12 13	3	1 13 14
374	3	3 4 12	3	1 13 14	3	1 13 14
375	3	3 4 12	3	4 10 13	3	1 13 14
376	3	3 4 12	3	4 10 13	3	1 13 14
377	3	3 4 12	3	3 4 19	3	1 13 14
378	3	3 4 8	3	4 8 13	3	1 8 13
379	3	3 4 8	3	4 13 16	3	1 8 13
380	3	3 4 8	3	4 10 18	3	1 8 13
381	3	3 4 8	3	1 12 13	3	1 8 13
382	3	3 4 8	3	1 10 13	3	1 8 13
383	3	3 4 8	3	3 4 14	3	1 8 13
384	3	3 4 8	3	3 4 8	3	1 8 13
385	3	3 4 8	3	7 8 13	3	3 4 8
386	3	3 4 8	3	1 8 13	3	3 4 8
387	3	3 4 8	3	1 12 13	3	3 4 8
388	3	3 4 8	3	3 4 12	3	3 4 8
389	3	3 4 8	3	7 12 13	3	3 4 8
390	3	3 4 8	3	1 8 13	3	3 4 8
391	3	3 4 8	3	4 12 13	3	3 4 8
392	3	3 4 8	3	4 12 13	3	3 4 8
393	3	3 4 8	3	4 12 13	3	3 4 8
394	3	3 4 8	3	7 13 16	3	3 4 8
395	3	4 8 9	3	4 8 9	3	3 4 8
396	3	4 8 9	3	1 8 13	3	3 4 8
397	3	4 8 9	3	4 8 9	3	7 13 14
398	3	4 8 9	3	4 13 16	3	7 13 14
399	3	4 8 9	3	7 13 14	3	7 13 14
400	3	4 8 9	3	7 8 13	3	7 13 14

Tabla 7: Resultados del problema de Set Covering aplicado a los datos aint5

7. MAX-COVERING PROBLEM

En esta sección se trata el *problema de cubrimiento máximo* o *max covering problem*. El problema consiste en lo siguiente: Sea m el número de puntos de demandas y n el de puntos de servicio. El objetivo se trata de maximizar el beneficio h_i obtenido de cubrir el i -ésimo punto de demanda. Para modelizar dicho cubrimiento se utiliza la variable binaria z_i . Para representar los puntos de servicio utilizados se utiliza la variable de tipo binario x_j . La motivación del problema consiste en encontrar el conjunto de variables x_j con cardinalidad máxima denominada por p y prefijada previamente, que maximice la ganancia debida al cubrimiento de los puntos de servicio z_i . El modelo formal se muestra en la ecuación (2).

$$\begin{aligned}
 &\text{Maximizar} && \sum_{i=1}^m h_i z_i \\
 &\text{sujeto a} && \sum_{j \in N_i} x_j \geq z_i, \quad i = 1, \dots, m \\
 &&& \sum_{j=1}^n x_j \leq p, \\
 &&& x_j \in \{0, 1\}, \quad j = 1, \dots, n \\
 &&& z_i \in \{0, 1\}, \quad i = 1, \dots, m
 \end{aligned} \tag{2}$$

Ecuación 2: *Formulación de Max-Covering Problem.*

[TODO describir heurísticas]

```
nfilcub := 0
while(nfilcub < m) do
  forall(j in servicios | fijada(j) = 0) do
    d(j) := 0
    forall(i in demandas) do
      if(cubierta(i) = 0 and a(i,j) = 1) then
        d(j) := d(j) + 1
      end-if
    end-do
    if(d(j) = 0) then
      fijada(j) := 1
      solu(j) := 0
    end-if
  end-do
  aux := -99
  forall(j in servicios | fijada(j) = 0) do
    if(d(j) > aux) then
      aux := d(j)
      jmax := j
    end-if
  end-do
  solu(jmax) := 1
  fijada(jmax) := 1
  forall(i in demandas) do
    if(cubierta(i) = 0 and a(i, jmax) = 1) then
      cubierta(i) := 1
      nfilcub := nfilcub + 1
    end-if
  end-do
end-do
```

Figura 7: *[TODO]*

[TODO describir heurísticas]

```
forall(j in servicios) k_marca(j) := 0
forall(k in k_iter) do
  aux := -99
  forall(j in servicios | (solu(j) = 0 and k_marca(j) = 0)) do
    if(aux < partial_sums(j)) then
      aux := partial_sums(j)
      jmax := j
    end-if
  end-do
  k_marca(jmax) := 1
  k_list(k) := jmax
end-do
k_win := ceil(random*k_max)
selected := k_list(k_win)
```

Figura 8: *[TODO]*

7.1 Ejercicio *aint1*

En este caso, se ha propuesto resolver el problema de *Cubrimiento Máximo* sobre un conjunto de datos de entrada de tamaño relativamente elevado, con $m = 356$ puntos de demanda y $n = 22$ puntos de servicio. Se considera que un distrito ha sido cubierto si la distancia a un punto de servicio es menor o igual que un determinado valor dc denominado distancia de cubrimiento. En este caso se ha resuelto para $dc = 200$ y un número de puntos de servicios restringido a $p = [1, 6]$, mediante la estrategia *Greedy*, la estrategia *Greedy Aleatorizada* (con parámetros $k = 5$ y $n = 100$) y la de *Solución Óptima*. Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en la figura 9 y de manera tabular en las tablas 8.

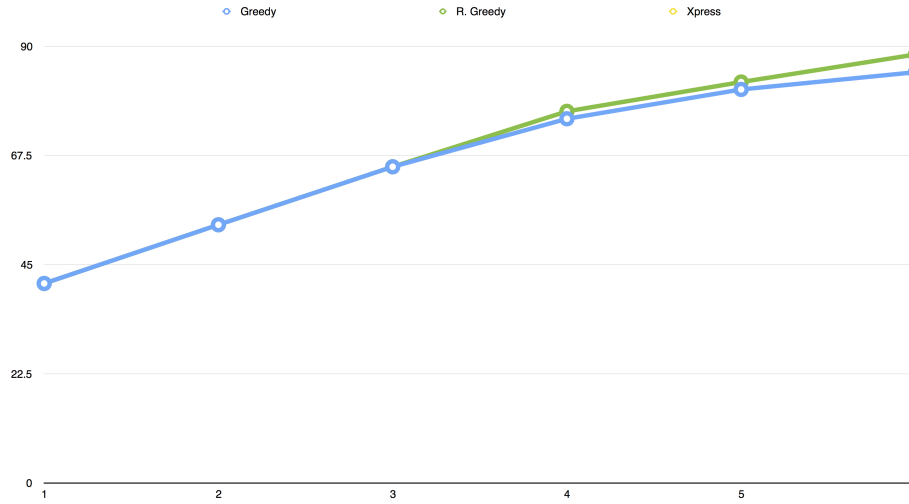


Figura 9: Resultados del problema de Max Covering aplicado a los datos *aint1*

p	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	R. Greedy Opened	Xpress	Xpress Opened
1	41.1322	18	41.1322	18	41.1322	18
2	53.2281	11 18	53.2281	11 18	53.2281	11 18
3	65.1815	6 11 18	65.1815	6 11 18	65.1815	6 11 18
4	75.0729	2 6 11 18	76.6026	1 2 19 22	76.6026	1 2 19 22
5	81.1139	2 6 8 11 18	82.6436	1 2 8 19 22	82.6436	1 2 8 19 22
6	84.665	2 6 8 9 11 18	88.3181	1 2 8 14 19 22	88.3181	1 2 8 14 19 22

Tabla 8: Resultados del problema de Max Covering aplicado a los datos *aint1*

7.2 Ejercicio *aint5*

En este caso, se ha propuesto resolver el problema de *Cubrimiento Máximo* sobre un conjunto de datos de entrada de tamaño relativamente elevado, con $m = 328$ puntos de demanda y $n = 19$ puntos de servicio. Se considera que un distrito ha sido cubierto si la distancia a un punto de servicio es menor o igual que un determinado valor dc denominado distancia de cubrimiento. En este caso se ha resuelto para $dc = 200$ y un número de puntos de servicios restringido a $p = [1, 6]$, mediante la estrategia *Greedy*, la estrategia *Greedy Aleatorizada* (con parámetros $k = 5$ y $n = 100$)

y la de *Solución Óptima*. Los resultados obtenidos se muestran gráficamente en la figura 10 y de manera tabular en las tablas 9.

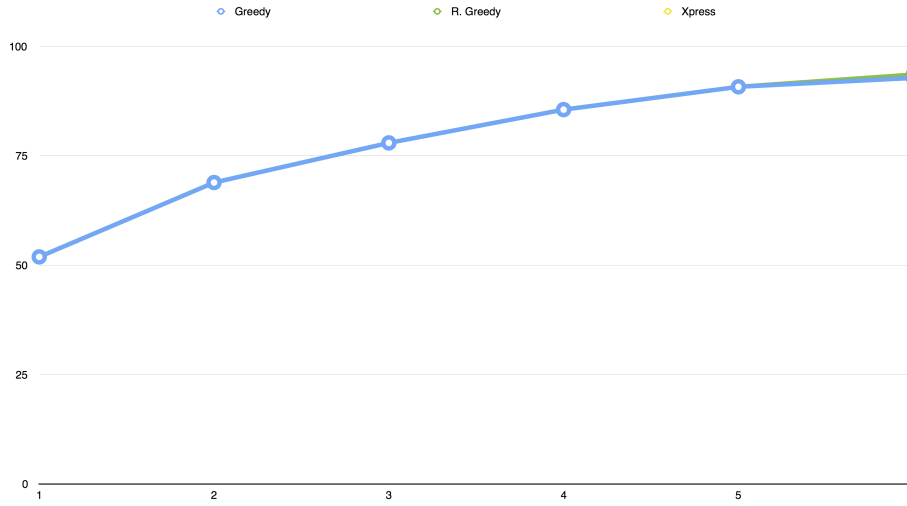


Figura 10: Resultados del problema de Max Covering aplicado a los datos aint5

p	Greedy	Greedy Opened	R. Greedy	R. Greedy Opened	Xpress	Xpress Opened
1	51.9056	17	51.9056	17	51.9056	17
2	68.8971	17 18	68.8971	17 18	68.8971	17 18
3	77.9532	2 17 18	77.9532	2 17 18	77.9532	2 17 18
4	85.5581	2 4 17 18	85.5581	2 4 17 18	85.5581	2 4 17 18
5	90.7717	2 4 10 17 18	90.7717	2 4 10 17 18	90.7717	2 4 10 17 18
6	92.7893	2 4 9 10 17 18	93.5694	4 11 12 17 18 19	93.5694	4 11 12 17 18 19

Tabla 9: Resultados del problema de Max Covering aplicado a los datos aint5

8. P-MEDIAN PROBLEM

En el caso del problema de la p-mediana, modelizado matemáticamente en la ecuación 3, el objetivo es minimizar la distancia global de cada uno de los p puntos de servicio abiertos al conjunto global de puntos de demanda, de manera que los j puntos de servicio abierto mantengan la menor distancia en promedio a los i puntos de demanda.

En este problema, al igual que en los anteriores, se utiliza un vector de demanda denominado h , que en la componente h_i almacena la demanda necesaria por el punto de demanda i . También existe una matriz de distancias de d , que en la posición d_{ij} recoge la distancia del punto de demanda i al punto de servicio j .

Para resolver este problema, además de las variables de decisión x_j utilizadas en casos anteriores, que representan que el punto de servicio j está activo, se añaden las variables y_{ij} , que representan que el punto de demanda i es servido por el punto de servicio j , lo que conlleva que en esta modelización cada punto de demanda sea servido únicamente por un único servicio.

$$\begin{aligned}
 &\text{Minimizar} && \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n h_i d_{ij} y_{ij} \\
 &\text{sujeto a} && \sum_{j=1}^n y_{ij} = 1, && i = 1, \dots, m \\
 &&& y_{ij} \leq x_j, && i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n \\
 &&& \sum_{j=1}^n x_j = p, \\
 &&& x_j \in \{0, 1\}, && j = 1, \dots, n \\
 &&& y_{ij} \in \{0, 1\}, && i = 1, \dots, m, j = 1, \dots, n
 \end{aligned} \tag{3}$$

Ecuación 3: *Formulación de P-Median Problem.*

[TODO describir heurísticas]

```

n_cub := 0
while(n_cub < p) do
  best := MAX_INT
  ndx := n
  forall(i in nodes | fijada(i) = 0) do
    val := 0
    forall(j in nodes) do
      fijada(i) := 1
      temp_best := MAX_INT
      forall(k in nodes | fijada(k) = 1 and d(k,j) < temp_best) do
        temp_best := d(k,j)
      end-do
      fijada(i) := 0
      val := val + temp_best
    end-do
    if (val < best) then
      best := val
      ndx := i
    end-if
  end-do
  fijada(ndx) := 1
  solu(ndx) := 1
  n_cub := n_cub + 1
end-do

```

Figura 11: *[TODO]*

[TODO describir heurísticas]

```
final := 0
while(final = 0) do
  d_total_final := sum(i in nodes) min(j in nodes | solu(j) = 1) d(i,j)
  mejora_max := 0
  forall(j,k in nodes | solu(j) = 1 and solu(k) = 0) do
    solu(j) := 0
    solu(k) := 1
    d_total_parcial := sum(ii in nodes) min(jj in nodes | solu(jj) = 1) d(ii,jj)
    mejora := d_total_final - d_total_parcial
    if(mejora > mejora_max) then
      mejora_max := mejora
      j_max := j
      k_max := k
    end-if
    solu(j) := 1
    solu(k) := 0
  end-do
  if (mejora_max = 0) then
    final := 1
  else
    solu(j_max) := 0
    solu(k_max) := 1
  end-if
end-do
```

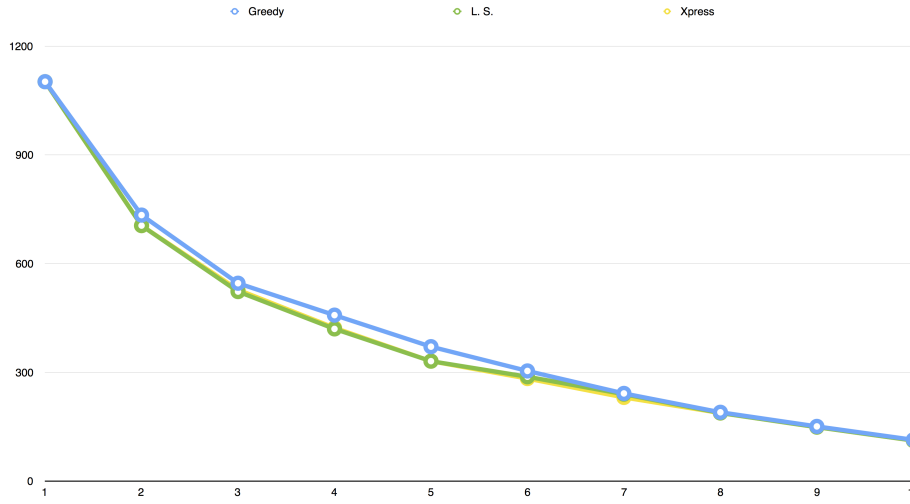
Figura 12: *[TODO]*

8.1 Ejercicio *coordenadas_15*

Este ejercicio tiene como novedad respecto de los anteriores la siguiente característica: En este caso los datos de entrada no se presentan a partir de la matriz de distancias, tal y como sucedía en el resto, sino que se suministran las coordenadas x e y de cada localización. Esto hace que el problema permita una mayor versatilidad en el sentido de calcular un mayor número de resultados, pero a la vez añade la complicación de requerir el cálculo de las distancias entre puntos.

Para la tarea de calcular las distancias se ha utilizado la *distancia euclídea* para espacios de 2 dimensiones (x, y) , que se define matemáticamente como $d(p, q) = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2}$. Por lo tanto, para la modelización del problema de la p -mediana, es necesario calcular dicha medida para todas las posibles combinaciones de localizaciones, de tal manera que la matriz d sea construida siguiendo la expresión $d_{ij} = d(l_i, l_j)$ donde l_i y l_j representan las coordenadas de las localizaciones i y j respectivamente.

En esta sección se resuelve el problema de la P Mediana mediante la estrategia *Greedy*, la estrategia de *Búsqueda Local* y la de *Solución Óptima*. El conjunto de datos está compuesto por $n = m = 15$ poblaciones, para las cuales se pide resolver el problema para $p = [1, 10] \in N$. Dichos resultados se muestran gráficamente en la figura 13 y de manera tabular en la tabla 11. Además, se proporciona la solución gráfica en la figura 14.

**Figura 13:** Resultados del problema P-Median aplicado a los datos de 15 poblaciones**Tabla 10:** Resultados del problema P-Median aplicado a los datos de 15 poblaciones**Tabla 11:** [TODO]

8.2 Ejercicio coordenadas_30

En esta sección se resuelve el problema de la *P Mediana* mediante la estrategia *Greedy*, la estrategia de *Búsqueda Local* y la de *Solución Óptima*. El conjunto de datos está compuesto por $n = m = 30$ poblaciones, para las cuales se pide resolver el problema para $p = [1, 10] \in N$. Dichos resultados se muestran graficamente en la figura 15 y de manera tabular en la tabla 12. Además, se proporciona la solución gráfica en la figura 16.

p	Greedy	Greedy Opened	L. S.	Xpress	Xpress Opened
1	2178	18	2178	2178	18
2	1733	5 18	1592	1592	23 28
3	1365	5 8 18	1295	1300	5 12 14
4	1143	5 8 11 18	1143	1076	12 14 26 27
5	982	5 6 8 11 18	922	923	8 11 13 23 26
6	847	5 6 8 11 18 28	790	790	8 11 26 27 28 30
7	757	5 6 8 11 18 27 28	692	697	1 10 11 17 26 27 30
8	672	5 6 8 11 18 25 27 28	601	601	1 10 11 17 25 26 27 30
9	593	1 5 6 8 11 18 25 27 28	536	536	1 10 11 16 17 21 26 27 30
10	528	1 5 6 8 11 18 21 25 27 28	492	485	2 10 11 16 17 21 22 26 27 30

Tabla 12: Resultados del problema P-Median aplicado a los datos de 30 poblaciones

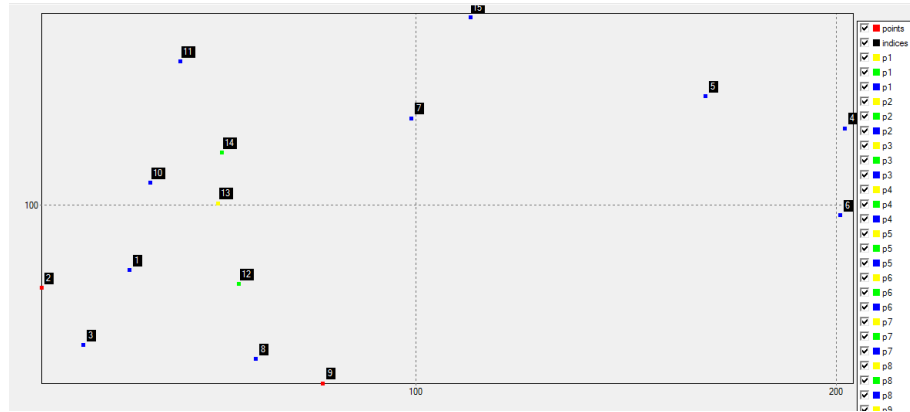


Figura 14: Representación gráfica del problema P-Median aplicado a los datos de 15 poblaciones

8.3 Ejercicio coordenadas_100

En esta sección se resuelve el problema de la *P Mediana* mediante la estrategia *Greedy*, la estrategia de *Búsqueda Local* y la de *Solución Óptima*. El conjunto de datos está compuesto por $n = m = 100$ poblaciones, para las cuales se pide resolver el problema para $p = [1, 10] \in N$. Dichos resultados se muestran graficamente en la figura 17 y de manera tabular en la tabla 13. Además, se proporciona la solución gráfica en la figura 18.

p	Greedy	Greedy Opened	L. S.	Xpress	Xpress Opened
1	7416	71	7416	7416	71
2	5744	71 95	5211	5211	63 77
3	4593	30 71 95	4243	4243	57 77 84
4	3845	28 30 71 95	3478	3500	6 14 55 57
5	3320	6 28 30 71 95	3053	3053	4 6 18 55 56
6	2907	6 28 30 58 71 95	2777	2745	4 18 20 49 56 69
7	2600	6 28 30 37 58 71 95	2495	2509	4 6 28 42 49 60 90
8	2364	6 28 30 37 58 71 89 95	2274	2287	4 6 28 41 42 89 90 92
9	2212	6 28 30 37 58 71 89 95 98	2110	2118	4 6 28 41 42 66 86 89 92
10	2072	6 28 30 37 58 66 71 89 95 98	1952	1952	4 15 21 28 41 42 66 86 89 92

Tabla 13: Resultados del problema P-Median aplicado a los datos de 100 poblaciones

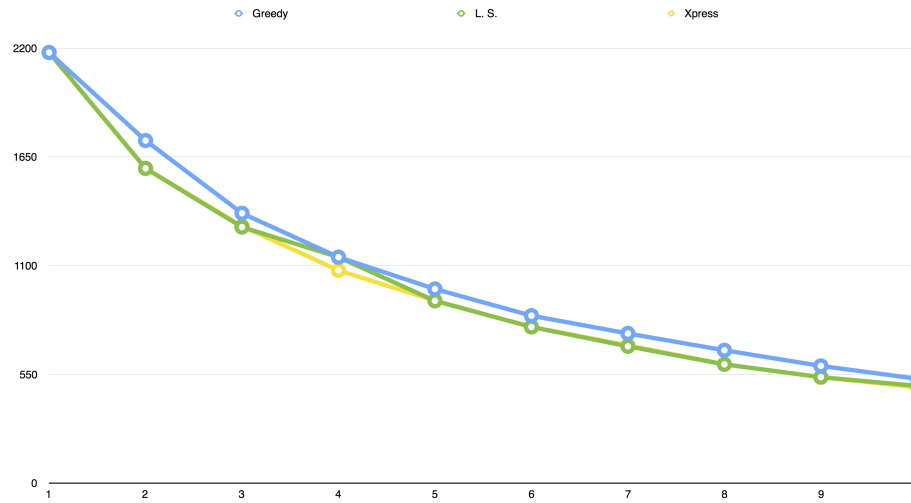


Figura 15: Resultados del problema P-Median aplicado a los datos de 30 poblaciones

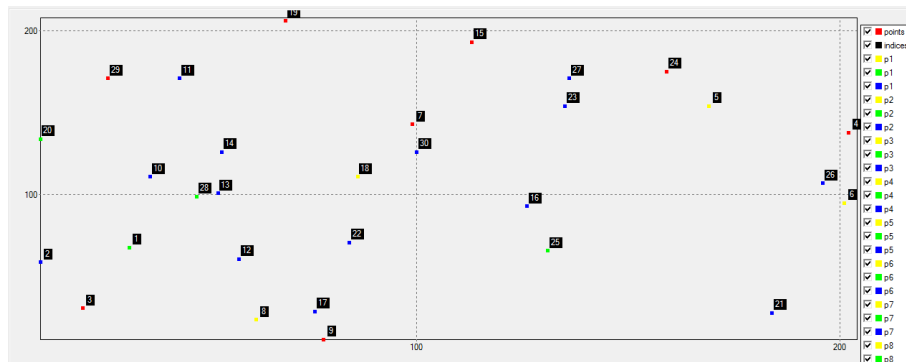


Figura 16: Representación gráfica del problema P-Median aplicado a los datos de 30 poblaciones

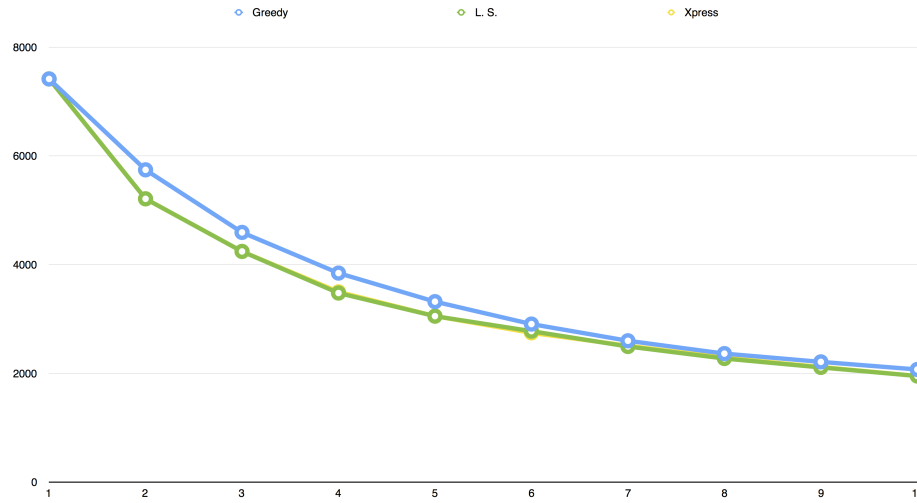


Figura 17: Resultados del problema P-Median aplicado a los datos de 100 poblaciones

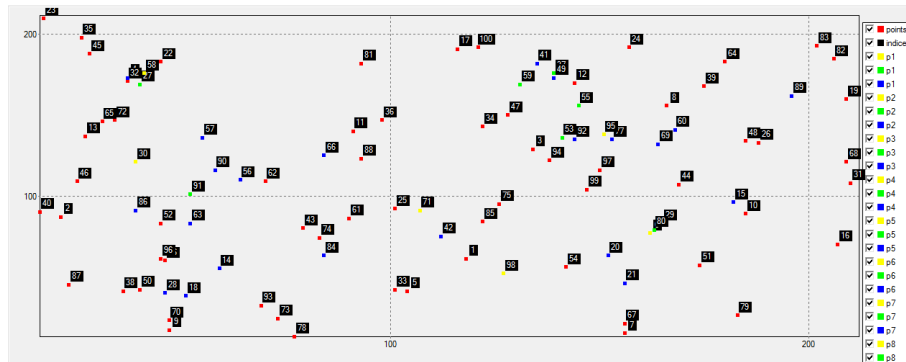


Figura 18: Representación gráfica del problema P-Median aplicado a los datos de 100 poblaciones

REFERENCIAS

- [1] AGUADO, J. S. Modelos de Investigación Operativa, 2016/17.
- [2] GARCÍA PRADO, S. Mosel Examples. <https://github.com/garciparedes/mosel-examples>.