

Práctica 1

# Algoritmos basados en Entornos y Trayectorias

Modelos bioinspirados y heurísticas de búsqueda



Victor Manuel Rodriguez Navarro



## Contenido

Objetivo.....	2
Algoritmo Greedy.....	2
Búsqueda aleatoria .....	3
Búsqueda local del mejor vecino .....	4
Búsqueda local del primer mejor vecino .....	5
Enfriamiento Simulado .....	6
Búsqueda Tabú.....	7
Comparativa y conclusiones .....	8

## Objetivo

El propósito de este documento es reunir y analizar las tablas de resultados de los diferentes algoritmos basados en entornos y trayectorias para resolver el Problema del Viajante de Comercio (TSP). Se mostrará un desglose por algoritmo y finalmente, varias tablas comparativas entre todos ellos.

## Algoritmo Greedy

Algoritmo Greedy												
	st70		ch130		a280		pa654		vm1084		vm1748	
	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV
Ejecución1	830,00	1,00	7.579,00	1,00	3.157,00	1,00	43.457,00	1,00	301.476,00	1,00	408.101,00	1,00

algoritmoGreedy

Tiempo de ejecución: 0.745999

Coste: 830

algoritmoGreedy

Tiempo de ejecución: 0.704498

Coste: 7579

algoritmoGreedy

Tiempo de ejecución:  
0.717003

Coste: 3157

algoritmoGreedy

Tiempo de ejecución: 0.747000

Coste: 43457

algoritmoGreedy

Tiempo de ejecución: 0.784001

Coste: 301476

algoritmoGreedy

Tiempo de ejecución:  
0.879998

Coste: 408101

Tras la ejecución del algoritmo Greedy sobre cada dataset, se han obtenido los estos resultados.

Cabe destacar que solo es necesario ejecutarlo una vez, ya que es un algoritmo totalmente determinista, y dará siempre el mismo resultado al empezar desde un nodo (en nuestro caso el primer nodo).

Por otro lado, es un algoritmo muy simple (se limita a seleccionar el nodo a menor distancia del actual) y eficiente, ya que es capaz de procesar todos los dataset en menos de un segundo cada uno, usando la librería que permite la ejecución multihilo "multiprocessing".

## Búsqueda aleatoria

Búsqueda aleatoria												
	st70		ch130		a280		pa654		vm1084		vm1748	
	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV
Ejecución1	2900	112000	38704	208000	29733	448000	1819347	1046400	7981407	1734400	14071939	2796800
Ejecución2	2912	112000	38402	208000	29959	448000	1796285	1046400	7794062	1734400	14190898	2796800
Ejecución3	2811	112000	38793	208000	29541	448000	1798309	1046400	7946794	1734400	14142942	2796800
Ejecución4	2824	112000	38588	208000	29428	448000	1822048	1046400	7984070	1734400	14135601	2796800
Ejecución5	2776	112000	38857	208000	28949	448000	1795091	1046400	7961523	1734400	14131011	2796800
Ejecución6	2836	112000	38496	208000	29621	448000	1786004	1046400	8010081	1734400	14148999	2796800
Ejecución7	2793	112000	38520	208000	29179	448000	1830159	1046400	7997939	1734400	14040688	2796800
Ejecución8	2690	112000	38746	208000	29520	448000	1814518	1046400	7849193	1734400	14195096	2796800
Ejecución9	2872	112000	38430	208000	28712	448000	1815083	1046400	7966476	1734400	14195751	2796800
Ejecución10	2714	112000	38846	208000	29751	448000	1799080	1046400	7945923	1734400	14181537	2796800
Mejor	2.690,00	112.000,00	38.402,00	208.000,00	28.712,00	448.000,00	1.786.004,00	1.046.400,00	7.794.062,00	1.734.400,00	14.040.688,00	2.796.800,00
Media	2.812,80	112.000,00	38.638,20	208.000,00	29.439,30	448.000,00	1.807.592,40	1.046.400,00	7.943.746,80	1.734.400,00	14.143.446,20	2.796.800,00
Des. Típ. (s)	73,18	0,00	172,18	0,00	385,95	0,00	14.411,81	0,00	68.778,12	0,00	52.731,89	0,00

Fichero: st70			Fichero: ch130			Fichero: a280		
Limite iteraciones: 112000			Limite iteraciones: 208000			Limite iteraciones: 448000		
Tiempo de ejecución: 11.617013			Tiempo de ejecución: 33.556203			Tiempo de ejecución: 93.639997		
1)	Coste: 2900	Semilla: 7416562	1)	Coste: 38704	Semilla: 7416562	1)	Coste: 29733	Semilla: 3023229
2)	Coste: 2912	Semilla: 6987867	2)	Coste: 38402	Semilla: 6987867	2)	Coste: 29959	Semilla: 9145821
3)	Coste: 2811	Semilla: 8444162	3)	Coste: 38793	Semilla: 8444162	3)	Coste: 29541	Semilla: 2030883
4)	Coste: 2824	Semilla: 251406	4)	Coste: 38588	Semilla: 251406	4)	Coste: 29428	Semilla: 9107397
5)	Coste: 2776	Semilla: 5887443	5)	Coste: 38857	Semilla: 5887443	5)	Coste: 28949	Semilla: 1026037
6)	Coste: 2836	Semilla: 147497	6)	Coste: 38496	Semilla: 147497	6)	Coste: 29621	Semilla: 4884751
7)	Coste: 2793	Semilla: 6934394	7)	Coste: 38520	Semilla: 6934394	7)	Coste: 29179	Semilla: 800162
8)	Coste: 2690	Semilla: 9080641	8)	Coste: 38746	Semilla: 9080641	8)	Coste: 29520	Semilla: 2499101
9)	Coste: 2872	Semilla: 1522345	9)	Coste: 38430	Semilla: 1522345	9)	Coste: 28712	Semilla: 2805795
10)	Coste: 2714	Semilla: 4707791	10)	Coste: 38846	Semilla: 4707791	10)	Coste: 29751	Semilla: 5712678
----			----			----		
Coste Media: 2812.800000		Desv: 73.184394	Coste Media: 38638.200000		Desv: 172.181300	Coste Media: 29439.300000		Desv: 385.950213
Fichero: p654			Fichero: vm1084			Fichero: vm1748		
Limite iteraciones: 1046400			Limite iteraciones: 1734400			Limite iteraciones: 2796800		
Tiempo de ejecución: 1075.529311			Tiempo de ejecución: 3008.678983			Tiempo de ejecución: 8018.743748		
1)	Coste: 1819347	Semilla: 7416562	1)	Coste: 79814	Semilla: 7416562	1)	Coste: 14071	Semilla: 7416562
2)	Coste: 1796285	Semilla: 6987867	2)	Coste: 77940	Semilla: 6987867	2)	Coste: 14190	Semilla: 6987867
3)	Coste: 1798309	Semilla: 8444162	3)	Coste: 79467	Semilla: 8444162	3)	Coste: 14142	Semilla: 8444162
4)	Coste: 1822048	Semilla: 251406	4)	Coste: 79840	Semilla: 251406	4)	Coste: 14135	Semilla: 251406
5)	Coste: 1795091	Semilla: 5887443	5)	Coste: 79615	Semilla: 5887443	5)	Coste: 14131	Semilla: 5887443
6)	Coste: 1786004	Semilla: 147497	6)	Coste: 80100	Semilla: 147497	6)	Coste: 14148	Semilla: 147497
7)	Coste: 1830159	Semilla: 6934394	7)	Coste: 79979	Semilla: 6934394	7)	Coste: 14040	Semilla: 6934394
8)	Coste: 1814518	Semilla: 9080641	8)	Coste: 78491	Semilla: 9080641	8)	Coste: 14195	Semilla: 9080641
9)	Coste: 1815083	Semilla: 1522345	9)	Coste: 79664	Semilla: 1522345	9)	Coste: 14195	Semilla: 1522345
10)	Coste: 1799080	Semilla: 4707791	10)	Coste: 79459	Semilla: 4707791	10)	Coste: 14181	Semilla: 4707791
-----			-----			-----		
Coste Media: 1807592.400000		Desv: 14411.813181	Coste Media: 7943746.8000		Desv: 68778.116103	Coste Media: 14143446.2000		Desv: 52731.892940

Tras la ejecución del algoritmo Búsqueda aleatoria sobre 10 semillas aleatorias en cada dataset, se han obtenido los estos resultados.

Este algoritmo es muy simple, pero para nada eficiente ni eficaz. Su coste depende del número de iteraciones que pasemos por parámetro, y estas serán el número de caminos aleatorios que se generarán. Por otra parte, no es eficaz ya que no emplea ninguna heurística de búsqueda ni interacción con el entorno (el entorno es todo el espacio de búsqueda), y sus resultados dependen de la aleatoriedad de obtener una buena solución en ese número fijo de iteraciones.

## Búsqueda local del mejor vecino

Búsqueda local mejor vecino												
	st70		ch130		a280		pa654		vm1084		vm1748	
	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV
Ejecución1	1173	113505	22094	209625	26412	468720	1913102	1067655	8454398	1760958	15133126	3053756
Ejecución2	1224	113505	22914	209625	24998	468720	1874183	1067655	8441813	1760958	15016535	3053756
Ejecución3	1190	113505	24253	209625	26666	468720	1954410	1067655	8366794	1760958	14738116	3053756
Ejecución4	1130	113505	24196	209625	27215	468720	2030531	1067655	8402660	1760958	14816225	3053756
Ejecución5	1194	113505	22502	209625	26931	468720	1973411	1067655	8376210	1760958	15018962	3053756
Ejecución6	1156	113505	24078	209625	26520	468720	1913706	1067655	8466410	1760958	14976830	3053756
Ejecución7	1259	113505	23038	209625	25446	468720	2011963	1067655	8366279	1760958	14828772	3053756
Ejecución8	1157	113505	25236	209625	26954	468720	1938008	1067655	8208834	1760958	14872157	3053756
Ejecución9	1056	113505	23045	209625	25677	468720	1990716	1067655	8148831	1760958	14795905	3053756
Ejecución10	1276	113505	23378	209625	27366	468720	1863563	1067655	8367801	1760958	14670935	3053756
Mejor	1.056,00	113.505,00	22.094,00	209.625,00	24.998,00	468.720,00	1.863.563,00	1.067.655,00	8.148.831,00	1.760.958,00	14.670.935,00	3.053.756,00
Media	1.181,50	113.505,00	23.473,40	209.625,00	26.418,50	468.720,00	1.946.359,30	1.067.655,00	8.360.003,00	1.760.958,00	14.886.756,30	3.053.756,00
Des. Tip. (s)	63,85	0,00	951,24	0,00	793,49	0,00	56.233,17	0,00	103.601,81	0,00	144.763,74	0,00

Fichero: st70				Fichero: ch130				Fichero: a280			
Limite iteraciones: 112000				Limite iteraciones: 208000				Limite iteraciones: 448000			
Tiempo de ejecución: 1.581002				Tiempo de ejecución: 1.841001				Tiempo de ejecución: 2.820997			
1)	Coste: 1173	#EV: 113505	Semilla: 8307796	1)	Coste: 22094	#EV: 209625	Semilla: 8307796	1)	Coste: 26412	#EV: 468720	Semilla: 4346140
2)	Coste: 1224	#EV: 113505	Semilla: 5145909	2)	Coste: 22914	#EV: 209625	Semilla: 5145909	2)	Coste: 24998	#EV: 468720	Semilla: 2298741
3)	Coste: 1190	#EV: 113505	Semilla: 9829141	3)	Coste: 24253	#EV: 209625	Semilla: 9829141	3)	Coste: 26666	#EV: 468720	Semilla: 5428347
4)	Coste: 1130	#EV: 113505	Semilla: 5840894	4)	Coste: 24196	#EV: 209625	Semilla: 5840894	4)	Coste: 27215	#EV: 468720	Semilla: 4392375
5)	Coste: 1194	#EV: 113505	Semilla: 5086812	5)	Coste: 22502	#EV: 209625	Semilla: 5086812	5)	Coste: 26931	#EV: 468720	Semilla: 8870551
6)	Coste: 1156	#EV: 113505	Semilla: 8084775	6)	Coste: 24078	#EV: 209625	Semilla: 8084775	6)	Coste: 26520	#EV: 468720	Semilla: 9827348
7)	Coste: 1259	#EV: 113505	Semilla: 210351	7)	Coste: 23038	#EV: 209625	Semilla: 210351	7)	Coste: 25446	#EV: 468720	Semilla: 8514779
8)	Coste: 1157	#EV: 113505	Semilla: 1855851	8)	Coste: 25236	#EV: 209625	Semilla: 1855851	8)	Coste: 26954	#EV: 468720	Semilla: 2338857
9)	Coste: 1056	#EV: 113505	Semilla: 6638255	9)	Coste: 23045	#EV: 209625	Semilla: 6638255	9)	Coste: 25677	#EV: 468720	Semilla: 2814383
10)	Coste: 1276	#EV: 113505	Semilla: 2387311	10)	Coste: 23378	#EV: 209625	Semilla: 2387311	10)	Coste: 27366	#EV: 468720	Semilla: 6963517
-----				-----				-----			
Coste Media:		1181.500000	Desv: 63.854435	Coste Media:		23473.400000	Desv: 951.240033	Coste Media:		26418.500000	Desv: 793.486295
#Ev Media:		113505.000000	Desv: 0.000000	#Ev Media:		209625.000000	Desv: 0.000000	#Ev Media:		468720.000000	Desv: 0.000000
Mejor solución de coste: 1056				Mejor solución de coste: 22094				Mejor solución de coste: 24998			
Fichero: p654				Fichero: vm1084				Fichero: vm1748			
Limite iteraciones: 1046400				Limite iteraciones: 1734400				Limite iteraciones: 2796800			
Tiempo de ejecución: 4.818500				Tiempo de ejecución: 7.046501				Tiempo de ejecución: 11.794998			
1)	Coste: 1913102	#EV: 1067655	Semilla: 4346140	1)	Coste: 8454398	#EV: 1760958	Semilla: 4346140	1)	Coste: 15133126	#EV: 3053756	Semilla: 4688369
2)	Coste: 1874183	#EV: 1067655	Semilla: 2298741	2)	Coste: 8441813	#EV: 1760958	Semilla: 2298741	2)	Coste: 15016535	#EV: 3053756	Semilla: 201967
3)	Coste: 1954410	#EV: 1067655	Semilla: 5428347	3)	Coste: 8366794	#EV: 1760958	Semilla: 5428347	3)	Coste: 14738116	#EV: 3053756	Semilla: 756812
4)	Coste: 2030531	#EV: 1067655	Semilla: 4392375	4)	Coste: 8402660	#EV: 1760958	Semilla: 4392375	4)	Coste: 14816225	#EV: 3053756	Semilla: 9444884
5)	Coste: 1973411	#EV: 1067655	Semilla: 8870551	5)	Coste: 8376210	#EV: 1760958	Semilla: 8870551	5)	Coste: 15018962	#EV: 3053756	Semilla: 7926831
6)	Coste: 1913706	#EV: 1067655	Semilla: 9827348	6)	Coste: 8466410	#EV: 1760958	Semilla: 9827348	6)	Coste: 14976830	#EV: 3053756	Semilla: 153232
7)	Coste: 2011963	#EV: 1067655	Semilla: 8514779	7)	Coste: 8366279	#EV: 1760958	Semilla: 8514779	7)	Coste: 14828772	#EV: 3053756	Semilla: 6575218
8)	Coste: 1938008	#EV: 1067655	Semilla: 2338857	8)	Coste: 8208834	#EV: 1760958	Semilla: 2338857	8)	Coste: 14872157	#EV: 3053756	Semilla: 7904492
9)	Coste: 1990716	#EV: 1067655	Semilla: 2814383	9)	Coste: 8148831	#EV: 1760958	Semilla: 2814383	9)	Coste: 14795905	#EV: 3053756	Semilla: 8509222
10)	Coste: 1863563	#EV: 1067655	Semilla: 6963517	10)	Coste: 8367801	#EV: 1760958	Semilla: 6963517	10)	Coste: 14670935	#EV: 3053756	Semilla: 304286
-----				-----				-----			
Coste Media:		1946359.300000	Desv: 56233.166769	Coste Media:		8360003.000000	Desv: 103601.814162	Coste Media:		14886756.300000	Desv: 144763.743355
#Ev Media:		1067655.000000	Desv: 0.000000	#Ev Media:		1760958.000000	Desv: 0.000000	#Ev Media:		3053756.000000	Desv: 0.000000
Mejor solución de coste: 1863563				Mejor solución de coste: 8148831				Mejor solución de coste: 14670935			

El algoritmo de búsqueda local supone un avance ya utiliza estructura de entorno, en este caso la vecindad dada por el operador opt-2 (intercambiar dos posiciones de un camino para generar un camino solución vecino).

Partimos de una solución inicial aleatoria y vamos explorando todos los vecinos para seleccionar el mejor. Si no encontramos un vecino que mejore la solución actual, se detiene el algoritmo. Igualmente se detendrá al llegar a un número fijo de iteraciones ( $1600 * \text{numNodos}$ ), que se contabilizan al llamar a la función de coste.

## Búsqueda local del primer mejor vecino

### Búsqueda local primer mejor vecino

	st70		ch130		a280		pa654		vm1084		vm1748	
	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV
Ejecución1	1024	113198	12752	208009	8406	451118	505670	1046494	3033809	1734440	7522305	2797330
Ejecución2	1204	113896	12644	209127	10365	449115	490623	1049741	3833923	1734748	7781875	2796882
Ejecución3	1001	91022	12120	209888	10639	448453	567341	1046687	4361692	1734754	7514781	2797070
Ejecución4	899	81854	13761	210672	10135	454276	697386	1046872	3005408	1734490	7469611	2796980
Ejecución5	943	112824	12489	208415	11849	449449	574200	1046520	3074414	1734475	9002388	2796981
Ejecución6	1027	96263	16397	208146	8809	449112	630843	1052439	3479992	1734766	7961131	2797178
Ejecución7	1057	82110	15413	211935	8865	449723	402126	1049402	2992652	1734586	7675063	2796809
Ejecución8	1038	108363	13406	208225	9958	453567	607125	1046434	3666979	1734894	7621754	2797908
Ejecución9	1047	112017	13985	212215	7508	448102	408446	1047954	5692211	1738246	7843160	2796840
Ejecución10	1108	67146	14251	208255	8062	453616	744691	1046660	3112212	1734447	7499643	2797067
Mejor	899,00	67.146,00	12.120,00	208.009,00	7.508,00	448.102,00	402.126,00	1.046.434,00	2.992.652,00	1.734.440,00	7.469.611,00	2.796.809,00
Media	1.034,80	97.869,30	13.721,80	209.488,70	9.459,60	450.653,10	562.845,10	1.047.920,30	3.625.329,20	1.734.984,60	7.789.171,10	2.797.104,50
Des. Tip. (s)	83,55	16.746,39	1.360,36	1.611,48	1.344,68	2.333,70	113.557,37	2.009,50	855.172,19	1.157,14	456.792,59	323,52

busquedaLocalPrimerMejorVecino				busquedaLocalPrimerMejorVecino				busquedaLocalPrimerMejorVecino			
Fichero: st70				Fichero: ch130				Fichero: a280			
Limite iteraciones: 112000				Limite iteraciones: 208000				Limite iteraciones: 448000			
Tiempo de ejecución: 1.585000				Tiempo de ejecución: 1.810000				Tiempo de ejecución: 2.514500			
1)	Coste: 1024	#EV: 113198	Semilla: 6047858	1)	Coste: 12752	#EV: 208009	Semilla: 6047858	1)	Coste: 8406	#EV: 451118	Semilla: 6047858
2)	Coste: 1204	#EV: 113896	Semilla: 6247333	2)	Coste: 12644	#EV: 209127	Semilla: 6247333	2)	Coste: 10365	#EV: 449115	Semilla: 6247333
3)	Coste: 1001	#EV: 91022	Semilla: 7448364	3)	Coste: 12120	#EV: 209888	Semilla: 7448364	3)	Coste: 10639	#EV: 448453	Semilla: 7448364
4)	Coste: 899	#EV: 81854	Semilla: 4876648	4)	Coste: 13761	#EV: 210672	Semilla: 4876648	4)	Coste: 10135	#EV: 454276	Semilla: 4876648
5)	Coste: 943	#EV: 112824	Semilla: 3637003	5)	Coste: 12489	#EV: 208415	Semilla: 3637003	5)	Coste: 11849	#EV: 449449	Semilla: 3637003
6)	Coste: 1027	#EV: 96263	Semilla: 732453	6)	Coste: 16397	#EV: 208146	Semilla: 732453	6)	Coste: 8809	#EV: 449112	Semilla: 732453
7)	Coste: 1057	#EV: 82110	Semilla: 8490771	7)	Coste: 15413	#EV: 211935	Semilla: 8490771	7)	Coste: 8865	#EV: 449723	Semilla: 8490771
8)	Coste: 1038	#EV: 108363	Semilla: 8484964	8)	Coste: 13406	#EV: 208225	Semilla: 8484964	8)	Coste: 9958	#EV: 453567	Semilla: 8484964
9)	Coste: 1047	#EV: 112017	Semilla: 2610241	9)	Coste: 13985	#EV: 212215	Semilla: 2610241	9)	Coste: 7508	#EV: 448102	Semilla: 2610241
10)	Coste: 1108	#EV: 67146	Semilla: 7120519	10)	Coste: 14251	#EV: 208255	Semilla: 7120519	10)	Coste: 8062	#EV: 453616	Semilla: 7120519
Coste Media: 1.034.800.000 Desv: 83.551448				Coste Media: 13.721.800.000 Desv: 1360.358188				Coste Media: 9.459.600.000 Desv: 1344.679408			
#Ev Media: 97.869.300.000 Desv: 16746.391366				#Ev Media: 209.488.700.000 Desv: 1611.476276				#Ev Media: 450.653.100.000 Desv: 2333.699040			
Mejor solución de coste: 899				Mejor solución de coste: 12120				Mejor solución de coste: 7508			
Fichero: p654				Fichero: vm1084				Fichero: vm1748			
Limite iteraciones: 1046400				Limite iteraciones: 1734400				Limite iteraciones: 2796800			
Tiempo de ejecución: 4.404001				Tiempo de ejecución: 7.018504				Tiempo de ejecución: 12.014999			
1)	Coste: 505670	#EV: 1046494	Semilla: 6047858	1)	Coste: 3033809	#EV: 1734440	Semilla: 6047858	1)	Coste: 7522305	#EV: 2797330	Semilla: 6047858
2)	Coste: 490623	#EV: 1049741	Semilla: 6247333	2)	Coste: 3833923	#EV: 1734748	Semilla: 6247333	2)	Coste: 7781875	#EV: 2796882	Semilla: 6247333
3)	Coste: 567341	#EV: 1046687	Semilla: 7448364	3)	Coste: 4361692	#EV: 1734754	Semilla: 7448364	3)	Coste: 7514781	#EV: 2797070	Semilla: 7448364
4)	Coste: 697386	#EV: 1046872	Semilla: 4876648	4)	Coste: 3005408	#EV: 1734490	Semilla: 4876648	4)	Coste: 7469611	#EV: 2796980	Semilla: 4876648
5)	Coste: 574200	#EV: 1046520	Semilla: 3637003	5)	Coste: 3074414	#EV: 1734475	Semilla: 3637003	5)	Coste: 9002388	#EV: 2796981	Semilla: 3637003
6)	Coste: 630843	#EV: 1052439	Semilla: 732453	6)	Coste: 3479992	#EV: 1734766	Semilla: 732453	6)	Coste: 7961131	#EV: 2797178	Semilla: 732453
7)	Coste: 402126	#EV: 1049402	Semilla: 8490771	7)	Coste: 2992652	#EV: 1734586	Semilla: 8490771	7)	Coste: 7675063	#EV: 2796809	Semilla: 8490771
8)	Coste: 607125	#EV: 1046434	Semilla: 8484964	8)	Coste: 3666979	#EV: 1734894	Semilla: 8484964	8)	Coste: 7621754	#EV: 2797908	Semilla: 8484964
9)	Coste: 408446	#EV: 1047954	Semilla: 2610241	9)	Coste: 5692211	#EV: 1738246	Semilla: 2610241	9)	Coste: 7843160	#EV: 2796840	Semilla: 2610241
10)	Coste: 744691	#EV: 1046660	Semilla: 7120519	10)	Coste: 3112212	#EV: 1734447	Semilla: 7120519	10)	Coste: 7499643	#EV: 2797067	Semilla: 7120519
Coste Media: 562.845.100.000 Desv: 113557.372143				Coste Media: 3.625.329.200.000 Desv: 855172.187241				Coste Media: 7.789.171 Desv: 456792.592421			
#Ev Media: 1.047.920.300.000 Desv: 2009.498171				#Ev Media: 1.734.984.600.000 Desv: 1157.136619				#Ev Media: 2.797.105 Desv: 323.522367			
Mejor solución de coste: 402126				Mejor solución de coste: 2992652				Mejor solución de coste: 7469611			

Este algoritmo es similar al anterior, solo que al encontrar un vecino que haga disminuir el coste de la solución actual, se detiene la exploración de vecinos.

Esto reduce la capacidad de exploración, pero al usar menos veces la función de coste en exploración de vecinos, consigue aprovechar mejor la limitación de iteraciones y por tanto, obtiene mejores resultados.

Por otra parte, ambos algoritmos de búsqueda local son eficientes y su tiempo de ejecución es considerablemente menor al de búsqueda aleatoria, tardando 12s en el dataset más grande frente a los 8000s del de búsqueda aleatoria.

## Enfriamiento Simulado

Enfriamiento Simulado												
	st70		ch130		a280		pa654		vm1084		vm1748	
	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV
Ejecución1	950	112001	10560	208001	6048	448001	318852	1046401	1300005	1734401	2215078	2796801
Ejecución2	1126	112001	11910	208001	6314	448001	342624	1046401	1398311	1734401	2398102	2796801
Ejecución3	1054	112001	11424	208001	6781	448001	320283	1046401	1322923	1734401	2356964	2796801
Ejecución4	900	112001	9981	208001	6315	448001	307500	1046401	1233144	1734401	2245650	2796801
Ejecución5	1094	112001	11193	208001	6218	448001	374388	1046401	1292924	1734401	2308416	2796801
Ejecución6	910	112001	11160	208001	6418	448001	322763	1046401	1306309	1734401	2260814	2796801
Ejecución7	955	112001	11559	208001	5521	448001	355828	1046401	1286527	1734401	2279721	2796801
Ejecución8	976	112001	10737	208001	5856	448001	349229	1046401	1237837	1734401	2209846	2796801
Ejecución9	1121	112001	10357	208001	5236	448001	367920	1046401	1277652	1734401	2203989	2796801
Ejecución10	916	112001	10434	208001	5974	448001	389706	1046401	1287425	1734401	2272878	2796801
Mejor	900,00	112.001,00	9.981,00	208.001,00	5.236,00	448.001,00	307.500,00	1.046.401,00	1.233.144,00	1.734.401,00	2.203.989,00	2.796.801,00
Media	1.000,20	112.001,00	10.931,50	208.001,00	6.068,10	448.001,00	344.909,30	1.046.401,00	1.294.305,70	1.734.401,00	2.275.145,80	2.796.801,00
Des. Tip. (s)	89,77	0,00	612,03	0,00	449,75	0,00	27.332,69	0,00	46.102,77	0,00	64.080,09	0,00

algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado			
Fichero: st70				Fichero: ch130				Fichero: a280			
Limite iteraciones: 5600				Limite iteraciones: 10400				Limite iteraciones: 22400			
Tiempo de ejecución: 1.961500				Tiempo de ejecución: 3.236504				Tiempo de ejecución: 5.482499			
1)	Coste: 950	#EV: 112001	Semilla: 6855880	1)	Coste: 10560	#EV: 208001	Semilla: 6855880	1)	Coste: 6048	#EV: 448001	Semilla: 6855880
2)	Coste: 1126	#EV: 112001	Semilla: 9635826	2)	Coste: 11910	#EV: 208001	Semilla: 9635826	2)	Coste: 6314	#EV: 448001	Semilla: 9635826
3)	Coste: 1054	#EV: 112001	Semilla: 1328515	3)	Coste: 11424	#EV: 208001	Semilla: 1328515	3)	Coste: 6781	#EV: 448001	Semilla: 1328515
4)	Coste: 900	#EV: 112001	Semilla: 5494183	4)	Coste: 9981	#EV: 208001	Semilla: 5494183	4)	Coste: 6315	#EV: 448001	Semilla: 5494183
5)	Coste: 1094	#EV: 112001	Semilla: 9816694	5)	Coste: 11193	#EV: 208001	Semilla: 9816694	5)	Coste: 6218	#EV: 448001	Semilla: 9816694
6)	Coste: 910	#EV: 112001	Semilla: 5027992	6)	Coste: 11160	#EV: 208001	Semilla: 5027992	6)	Coste: 6418	#EV: 448001	Semilla: 5027992
7)	Coste: 955	#EV: 112001	Semilla: 3628315	7)	Coste: 11559	#EV: 208001	Semilla: 3628315	7)	Coste: 5521	#EV: 448001	Semilla: 3628315
8)	Coste: 976	#EV: 112001	Semilla: 1355206	8)	Coste: 10737	#EV: 208001	Semilla: 1355206	8)	Coste: 5856	#EV: 448001	Semilla: 1355206
9)	Coste: 1121	#EV: 112001	Semilla: 2439335	9)	Coste: 10357	#EV: 208001	Semilla: 2439335	9)	Coste: 5236	#EV: 448001	Semilla: 2439335
10)	Coste: 916	#EV: 112001	Semilla: 9974473	10)	Coste: 10434	#EV: 208001	Semilla: 9974473	10)	Coste: 5974	#EV: 448001	Semilla: 9974473
-----				-----				-----			
Coste Media: 1000.200000				Coste Media: 10931.500000				Coste Media: 6068.100000			
#Ev Media: 112001.000000				#Ev Media: 208001.000000				#Ev Media: 448001.000000			
Desv: 89.768591				Desv: 612.029275				Desv: 449.753871			
Desv: 0.000000				Desv: 0.000000				Desv: 0.000000			
Mejor solución de coste: 900				Mejor solución de coste: 9562				Mejor solución de coste: 5236			
algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado			
Fichero: p654				Fichero: vm1084				Fichero: vm1748			
Limite iteraciones: 52320				Limite iteraciones: 86720				Limite iteraciones: 139840			
Tiempo de ejecución: 13.197999				Tiempo de ejecución: 23.293002				Tiempo de ejecución: 40.314501			
1)	Coste: 318852	#EV: 104640	Semilla: 6855880	1)	Coste: 130000	#EV: 173440	Semilla: 6855880	1)	Coste: 2215078	#EV: 2796801	Semilla: 6855880
2)	Coste: 342624	#EV: 104640	Semilla: 9635826	2)	Coste: 139831	#EV: 173440	Semilla: 9635826	2)	Coste: 2398102	#EV: 2796801	Semilla: 9635826
3)	Coste: 320283	#EV: 104640	Semilla: 1328515	3)	Coste: 132292	#EV: 173440	Semilla: 1328515	3)	Coste: 2356964	#EV: 2796801	Semilla: 1328515
4)	Coste: 307500	#EV: 104640	Semilla: 5494183	4)	Coste: 123314	#EV: 173440	Semilla: 5494183	4)	Coste: 2245650	#EV: 2796801	Semilla: 5494183
5)	Coste: 374388	#EV: 104640	Semilla: 9816694	5)	Coste: 129292	#EV: 173440	Semilla: 9816694	5)	Coste: 2308416	#EV: 2796801	Semilla: 9816694
6)	Coste: 322763	#EV: 104640	Semilla: 5027992	6)	Coste: 130630	#EV: 173440	Semilla: 5027992	6)	Coste: 2260814	#EV: 2796801	Semilla: 5027992
7)	Coste: 355828	#EV: 104640	Semilla: 3628315	7)	Coste: 128652	#EV: 173440	Semilla: 3628315	7)	Coste: 2279721	#EV: 2796801	Semilla: 3628315
8)	Coste: 349229	#EV: 104640	Semilla: 1355206	8)	Coste: 123783	#EV: 173440	Semilla: 1355206	8)	Coste: 2209846	#EV: 2796801	Semilla: 1355206
9)	Coste: 367920	#EV: 104640	Semilla: 2439335	9)	Coste: 127765	#EV: 173440	Semilla: 2439335	9)	Coste: 2203989	#EV: 2796801	Semilla: 2439335
10)	Coste: 389706	#EV: 104640	Semilla: 9974473	10)	Coste: 128742	#EV: 173440	Semilla: 9974473	10)	Coste: 2272878	#EV: 2796801	Semilla: 9974473
-----				-----				-----			
Coste Media: 344909.300000				Coste Media: 1294305.700000				Coste Media: 2275145.800000			
#Ev Media: 1046401.000000				#Ev Media: 1734401.000000				#Ev Media: 2796801.000000			
Desv: 27332.688363				Desv: 46102.769464				Desv: 64080.092178			
Desv: 0.000000				Desv: 0.000000				Desv: 0.000000			
Mejor solución de coste: 307500				Mejor solución de coste: 1233144				Mejor solución de coste: 2203989			

Este algoritmo es un método de búsqueda global, que permite movimientos hacia soluciones peores para poder escapar de mínimos locales. Mediante el parámetro de temperatura se consigue mayor probabilidad de aceptar soluciones peores al principio (exploración) y menor probabilidad al final (explotación), haciendo que la búsqueda se diversifique al principio y se intensifique al final.

Nuestra implementación usa el esquema de enfriamiento de Cauchy y un número fijo de soluciones por cada temperatura (20). La condición de parada es de un número de iteraciones (80\*n).



Este algoritmo consigue resultados notablemente mejores que la búsqueda aleatoria y local, aunque requiere un poco más de tiempo de procesamiento, no obstante, asumible.

## Búsqueda Tabú

Búsqueda Tabú												
	st70		ch130		a280		pa654		vm1084		vm1748	
	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV	Coste	#EV
Ejecución1	980	112003	10250	208004	7122	448004	98462	1046404	1493573	1734405	2570327	2796804
Ejecución2	1073	112004	11195	208004	2996	448004	329114	1046403	1469902	1734404	2409871	2796802
Ejecución3	992	112005	11310	208004	2879	448004	99219	1046404	1395645	1734403	2696201	2796804
Ejecución4	1022	112004	10306	208003	3245	448004	100353	1046404	1416843	1734404	2303177	2796804
Ejecución5	1023	112005	9992	208005	2868	448003	328567	1046401	1367140	1734403	2641385	2796804
Ejecución6	1065	112004	11285	208005	3474	448005	103497	1046404	1469118	1734404	2604359	2796805
Ejecución7	989	112004	10330	208005	3034	448004	348415	1046404	1404381	1734404	2660937	2796805
Ejecución8	1013	112003	10816	208004	3126	448003	102587	1046405	1503934	1734404	2436246	2796804
Ejecución9	1076	112005	10856	208003	3141	448005	339662	1046402	1566976	1734405	2613595	2796804
Ejecución10	976	112004	10890	208004	3466	448003	100851	1046403	1470293	1734404	2338296	2796804
Mejor	976,00	112.003,00	9.992,00	208.003,00	2.868,00	448.003,00	98.462,00	1.046.401,00	1.367.140,00	1.734.403,00	2.303.177,00	2.796.802,00
Media	1.020,90	112.004,10	10.723,00	208.004,10	3.535,10	448.003,90	195.072,70	1.046.403,40	1.455.780,50	1.734.404,00	2.527.439,40	2.796.804,00
Des. Tip. (s)	38,45	0,74	474,21	0,74	1.277,95	0,74	121.800,63	1,17	59.935,93	0,67	142.467,10	0,82

algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado			
Fichero: st70				Fichero: ch130				Fichero: a280			
Limite iteraciones: 5600				Limite iteraciones: 10400				Limite iteraciones: 22400			
Tiempo de ejecución: 1.961500				Tiempo de ejecución: 3.236504				Tiempo de ejecución: 5.482499			
1)	Coste: 950	#EV: 112001	Semilla: 6855880	1)	Coste: 10560	#EV: 208001	Semilla: 6855880	1)	Coste: 6048	#EV: 448001	Semilla: 6855880
2)	Coste: 1126	#EV: 112001	Semilla: 9635826	2)	Coste: 11910	#EV: 208001	Semilla: 9635826	2)	Coste: 6314	#EV: 448001	Semilla: 9635826
3)	Coste: 1054	#EV: 112001	Semilla: 1328515	3)	Coste: 11424	#EV: 208001	Semilla: 1328515	3)	Coste: 6781	#EV: 448001	Semilla: 1328515
4)	Coste: 900	#EV: 112001	Semilla: 5494183	4)	Coste: 9981	#EV: 208001	Semilla: 5494183	4)	Coste: 6315	#EV: 448001	Semilla: 5494183
5)	Coste: 1094	#EV: 112001	Semilla: 9816694	5)	Coste: 11193	#EV: 208001	Semilla: 9816694	5)	Coste: 6218	#EV: 448001	Semilla: 9816694
6)	Coste: 910	#EV: 112001	Semilla: 5027992	6)	Coste: 11160	#EV: 208001	Semilla: 5027992	6)	Coste: 6418	#EV: 448001	Semilla: 5027992
7)	Coste: 955	#EV: 112001	Semilla: 3628315	7)	Coste: 11559	#EV: 208001	Semilla: 3628315	7)	Coste: 5521	#EV: 448001	Semilla: 3628315
8)	Coste: 976	#EV: 112001	Semilla: 1355206	8)	Coste: 10737	#EV: 208001	Semilla: 1355206	8)	Coste: 5856	#EV: 448001	Semilla: 1355206
9)	Coste: 1121	#EV: 112001	Semilla: 2439335	9)	Coste: 10357	#EV: 208001	Semilla: 2439335	9)	Coste: 5236	#EV: 448001	Semilla: 2439335
10)	Coste: 916	#EV: 112001	Semilla: 9974473	10)	Coste: 10434	#EV: 208001	Semilla: 9974473	10)	Coste: 5974	#EV: 448001	Semilla: 9974473
Coste Media:	1000.200000	Desv: 79.768591		Coste Media:	10931.500000	Desv: 612.029275		Coste Media:	6068.100000	Desv: 449.753871	
#Ev Media:	112001.000000	Desv: 0.000000		#Ev Media:	208001.000000	Desv: 0.000000		#Ev Media:	448001.000000	Desv: 0.000000	
Mejor solución de coste:	900			Mejor solución de coste:	9562			Mejor solución de coste:	5236		
algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado				algoritmoEnfriamientoSimulado			
Fichero: p654				Fichero: vm1084				Fichero: vm1748			
Limite iteraciones: 52320				Limite iteraciones: 86720				Limite iteraciones: 139840			
Tiempo de ejecución: 13.197999				Tiempo de ejecución: 23.293002				Tiempo de ejecución: 40.314501			
1)	Coste: 318852	#EV: 104640	Semilla: 6855880	1)	Coste: 130000	#EV: 173440	Semilla: 6855880	1)	Coste: 2215078	#EV: 2796801	Semilla: 6855880
2)	Coste: 342624	#EV: 104640	Semilla: 9635826	2)	Coste: 139831	#EV: 173440	Semilla: 9635826	2)	Coste: 2398102	#EV: 2796801	Semilla: 9635826
3)	Coste: 320283	#EV: 104640	Semilla: 1328515	3)	Coste: 132292	#EV: 173440	Semilla: 1328515	3)	Coste: 2356964	#EV: 2796801	Semilla: 1328515
4)	Coste: 307500	#EV: 104640	Semilla: 5494183	4)	Coste: 123314	#EV: 173440	Semilla: 5494183	4)	Coste: 2245650	#EV: 2796801	Semilla: 5494183
5)	Coste: 374388	#EV: 104640	Semilla: 9816694	5)	Coste: 129292	#EV: 173440	Semilla: 9816694	5)	Coste: 2308416	#EV: 2796801	Semilla: 9816694
6)	Coste: 322763	#EV: 104640	Semilla: 5027992	6)	Coste: 130630	#EV: 173440	Semilla: 5027992	6)	Coste: 2260814	#EV: 2796801	Semilla: 5027992
7)	Coste: 355828	#EV: 104640	Semilla: 3628315	7)	Coste: 128652	#EV: 173440	Semilla: 3628315	7)	Coste: 2279721	#EV: 2796801	Semilla: 3628315
8)	Coste: 349229	#EV: 104640	Semilla: 1355206	8)	Coste: 123783	#EV: 173440	Semilla: 1355206	8)	Coste: 2209846	#EV: 2796801	Semilla: 1355206
9)	Coste: 367920	#EV: 104640	Semilla: 2439335	9)	Coste: 127765	#EV: 173440	Semilla: 2439335	9)	Coste: 2203989	#EV: 2796801	Semilla: 2439335
10)	Coste: 389706	#EV: 104640	Semilla: 9974473	10)	Coste: 128742	#EV: 173440	Semilla: 9974473	10)	Coste: 2272878	#EV: 2796801	Semilla: 9974473
Coste Media:	344909.300000	Desv: 27332.688363		Coste Media:	1294305.700000	Desv: 46102.769464		Coste Media:	2275145.800000	Desv: 64080.092178	
#Ev Media:	1046401.000000	Desv: 0.000000		#Ev Media:	1734401.000000	Desv: 0.000000		#Ev Media:	2796801.000000	Desv: 0.000000	
Mejor solución de coste:	307500			Mejor solución de coste:	1233144			Mejor solución de coste:	2203989		

Este algoritmo presenta soluciones ante el problema de quedarse atrapado en óptimos locales. Es capaz de aceptar movimientos de empeoramiento, modificar la estructura de entorno y, a diferencia del anterior, permite volver a comenzar la búsqueda desde otra solución inicial.



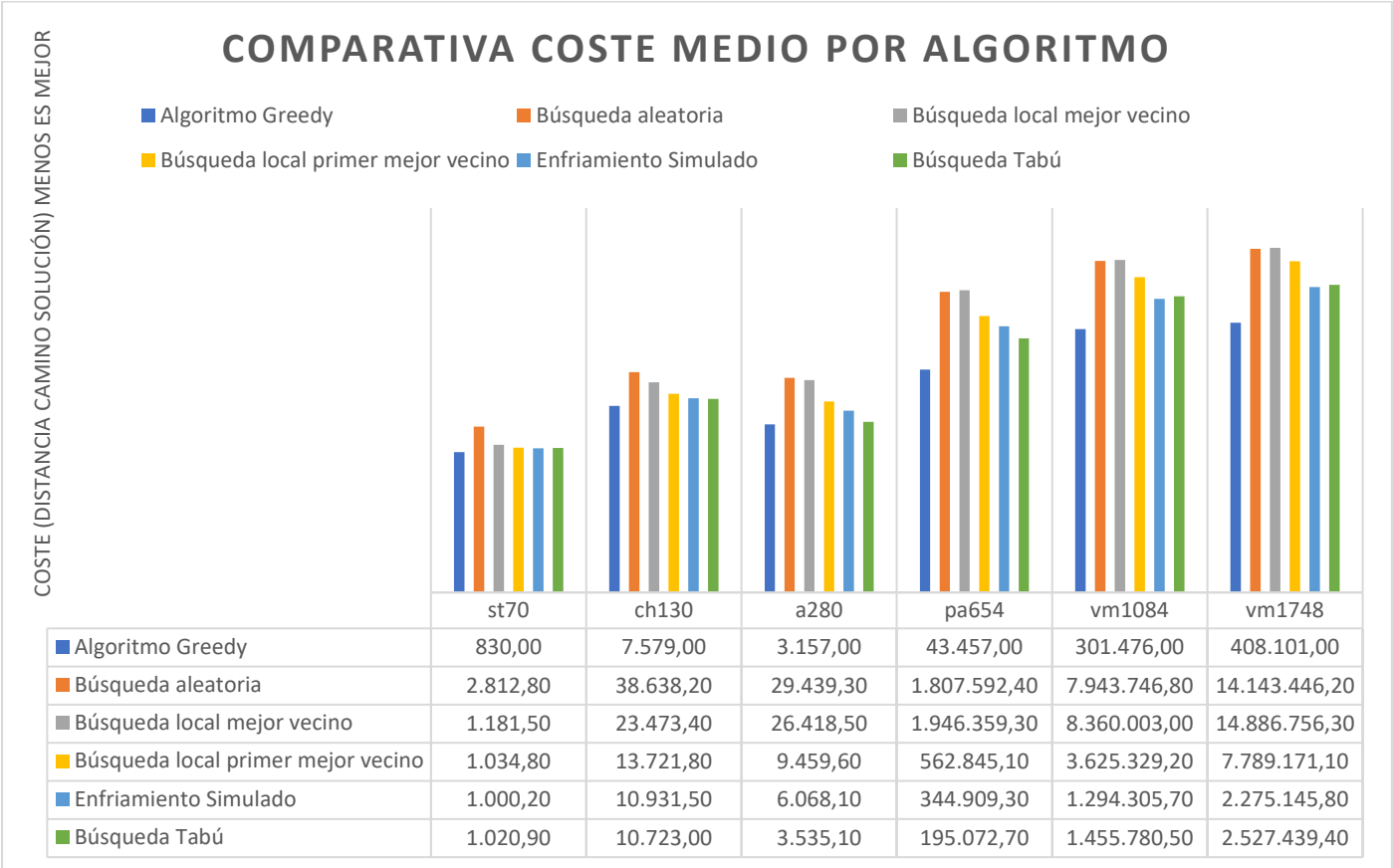
Para ello usa dos estructuras de memoria adaptativa: memoria corto plazo o lista tabú y memoria a largo plazo (que permite intensificar o diversificar la búsqueda) para reinicializar la búsqueda a partir de otra solución.

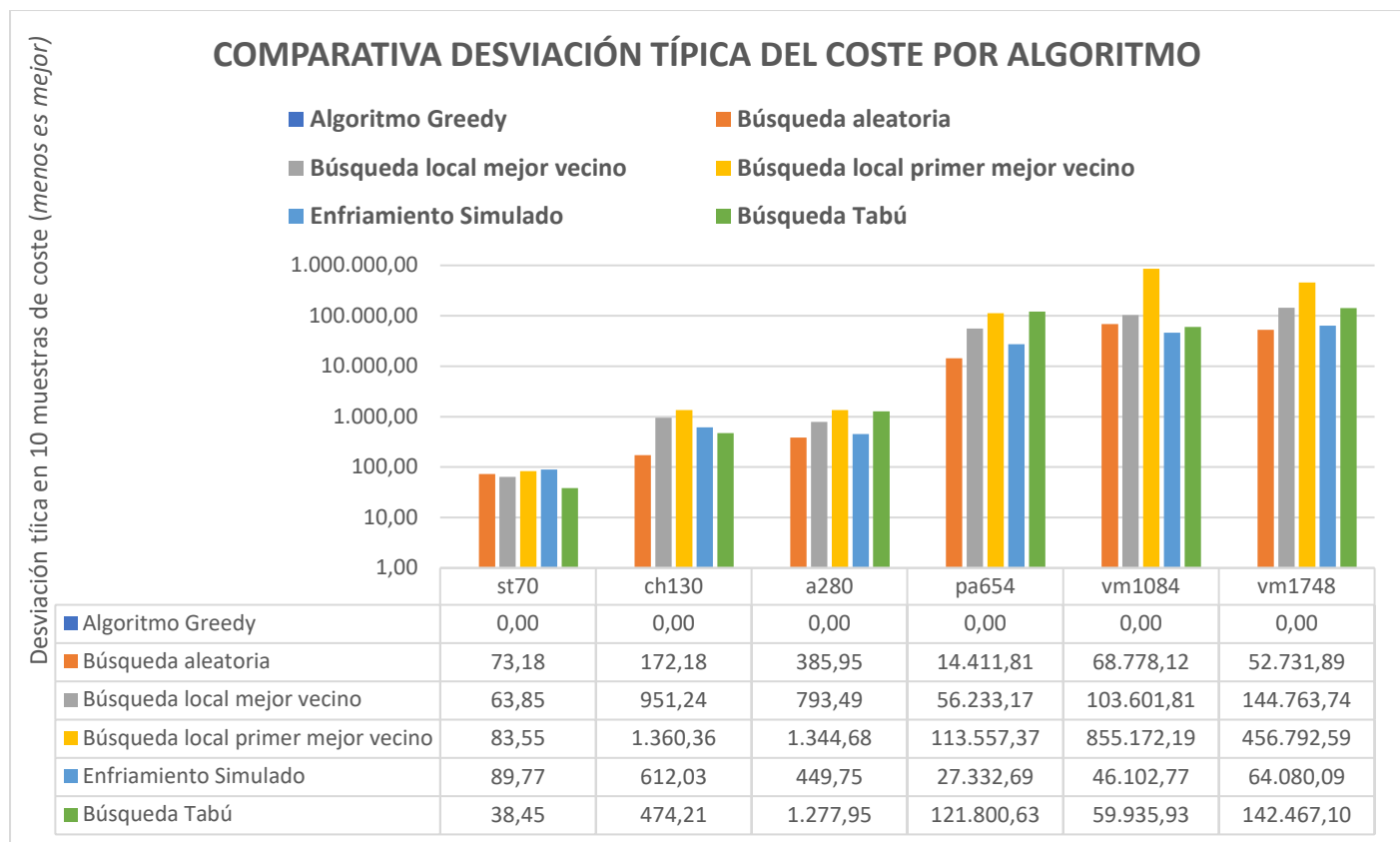
El tiempo de procesamiento es más elevado que el algoritmo anterior, pero obtiene mejores resultados en los datasets a280 y pa654 y en el resto, resultados similares.

### Comparativa y conclusiones

A continuación, exponemos una comparativa entre todos los algoritmos, desglosada por dataset.

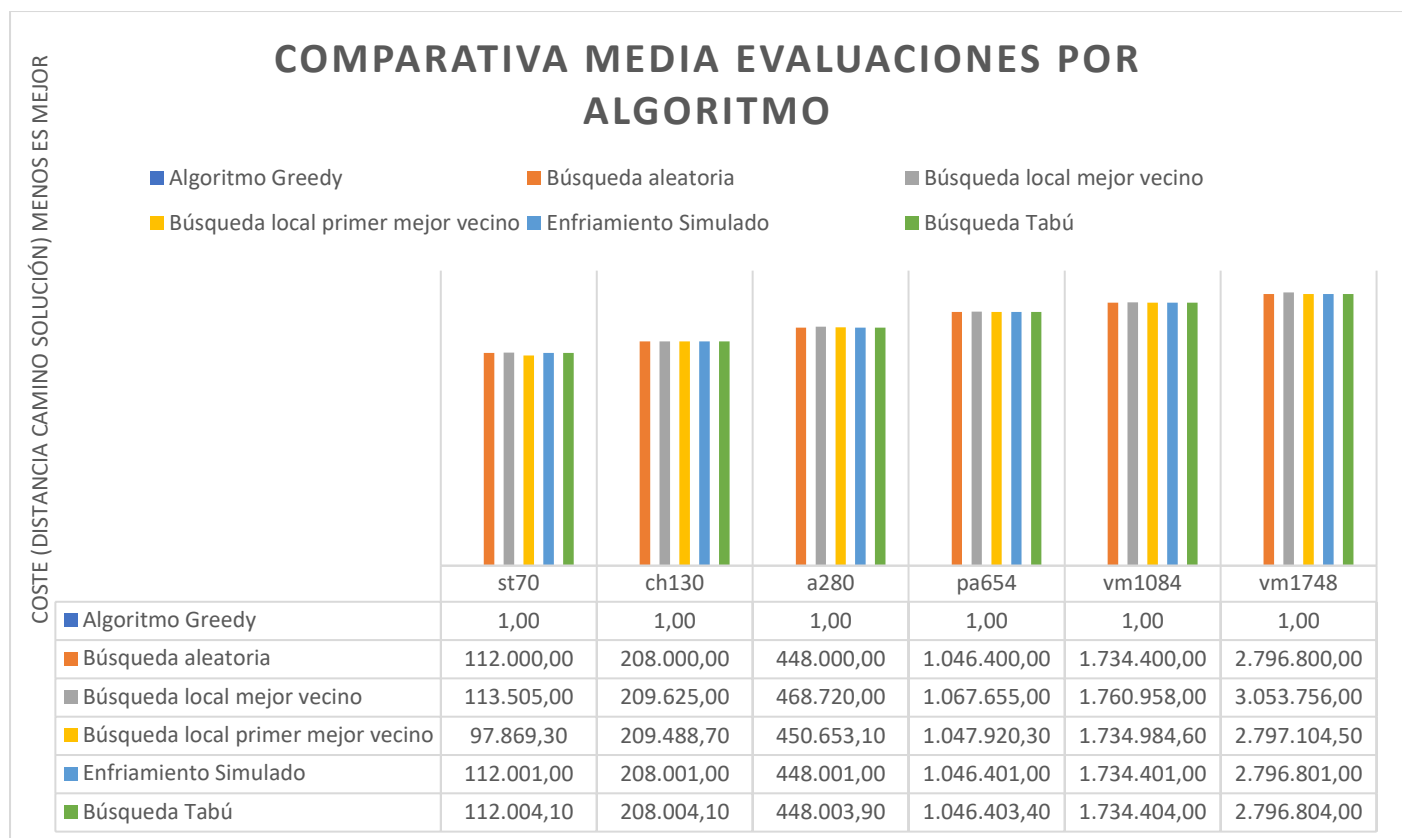
	st70 (675)				ch130 (6110)				a280 (2579)				Pa654 (34.643)				Vm1084 (239.297)				Vm1748			
Modelo	Med	Mej	S	EV	Med2	Mej2	S2	EV2	Med3	Mej3	S3	EV3	Med4	Mej4	S4	EV4	Med5	Mej5	S5	EV5	Med6	Mej6	S6	EV6
Greedy	830,00	830,00	0	1	7.579,00	7.579,00	0	1	3.157,00	3.157,00	0	1	43.457,00	43.457,00	0	1	301.476,00	301.476,00	0	1	408.101,00	408.101,00	0	1
Aleatoria	2.812,80	2.690,00	73,18	112.000,00	38.638,20	38.402,00	172,18	208.000,00	29.439,30	28.712,00	385,95	448.000,00	1.807.592,40	1.786.004,00	14.411,81	1.046.400,00	7.943.746,80	7.794.062,00	68.778,12	1.734.400,00	14.143.446,20	14.040.688,00	52.731,89	2.796.800,00
BA Mejor	1.181,50	1.056,00	63,85	113.505,00	23.473,40	22.094,00	951,24	209.625,00	26.418,50	24.998,00	793,49	468.720,00	1.946.359,30	1.863.563,00	56.233,17	1.067.655,00	8.360.003,00	8.148.831,00	103.601,81	1.760.958,00	14.886.756,30	14.670.935,00	144.763,74	3.053.756,00
BA Primer Mejor	1.034,80	899,00	83,55	97.869,30	13.721,80	12.120,00	1.360,36	209.488,70	9.459,60	7.508,00	1.344,68	450.653,10	562.845,10	402.126,00	113.557,37	1.047.920,30	3.625.329,20	2.992.652,00	855.172,19	1.734.984,60	7.789.171,10	7.469.611,00	456.792,59	2.797.104,50
ES	1.000,20	900,00	89,77	2.240.020,00	10.931,50	9.981,00	612,03	208.001,00	6.068,10	5.236,00	449,75	448.001,00	344.909,30	307.500,00	27.332,69	1.046.401,00	1.294.305,70	1.233.144,00	46.102,77	1.734.401,00	2.275.145,80	2.203.989,00	64.080,09	2.796.801,00
BT	1.020,90	976,00	38,45	112.004,10	10.723,00	9.992,00	474,21	208.004,10	3.535,10	2.868,00	1.277,95	448.003,90	195.072,70	98.462,00	121.800,63	1.046.403,40	1.455.780,50	1.367.140,00	59.935,93	1.734.404,00	2.527.439,40	2.303.177,00	142.467,10	2.796.804,00





Con respecto al análisis de la desviación típica del coste, igualmente el algoritmo Greedy no tiene rival, ya que es un algoritmo totalmente determinista y por ello, presenta una desviación típica de 0. Solo es necesario ejecutarlo una vez por dataset.

En cuanto al resto de algoritmos, destaca el de Búsqueda Aleatoria, que como vimos en clase, se puede modelar la probabilidad de obtener una solución buena en un espacio de búsqueda según las iteraciones y también Enfriamiento Simulado, al presentar baja desviación típica y, por tanto, mostrar que es un algoritmo robusto y consistente.



Por último, cabe decir que los parámetros están configurados para realizar un número de evaluaciones muy similar en cada algoritmo y, por tanto, poder comparar sus resultados en igualdad de condiciones.