

Práctica de búsqueda local

Laboratorio de Inteligencia Artificial

Marion Not - Michael Boris Mandirola

Primavera 2010-2011

Índice

1. Representación del problema	4
1.1. Identificación de los elementos relevantes	4
1.1.1. Constantes	4
1.1.2. Elementos específicos del problema	4
1.1.3. Elementos de la solución	5
1.2. Definición del Estado	5
1.2.1. Implementación	5
1.2.2. Tamaño del espacio de búsqueda	6
1.3. Operadores	6
1.3.1. Op1 : Desplazamiento de una petición	6
1.3.2. Op2 : Intercambio de capacidades de camiones	6
1.3.3. Op3 : Intercambio de dos peticiones	7
1.4. Funciones Heurísticas	7
1.4.1. Maximización del beneficio	7
1.4.2. Minimización del tiempo	8
1.5. Estados Iniciales	8
1.5.1. Ei1 : Cuanto antes	8
1.5.2. Ei2 : Por hora	8
1.5.3. Ei3 : First-Fit	9
1.5.4. Ei4 : Vacío	9
2. Experimentos	10
2.1. Implementación	10
2.1.1. Generación de los problemas	10
2.1.2. Workflow de ejecución de pruebas	10
2.1.3. Recuperación de resultados	10
2.2. Generalidades	11
2.2.1. Condiciones de experimento por defecto	11
2.2.2. Comentario sobre el numero de pruebas	11
2.2.3. Comentario sobre valores empiricos	11
2.3. Experimento 1 : Elección del conjunto de operadores	12
2.3.1. Contexto	12
2.3.2. Resultados	12
2.3.3. Conclusiones	12
2.4. Experimento 2 : Elección del estado inicial	12
2.4.1. Contexto	12
2.4.2. Resultados	12
2.4.3. Conclusiones	13
2.5. Experimento 3 : Influencia de los parámetros del Simulated Annealing	13
2.5.1. Contexto	13
2.5.2. Resultados	13
2.5.3. Conclusiones	16
2.6. Experimento 4 : Influencia del número de peticiones	17
2.6.1. Contexto	17
2.6.2. Resultados	17
2.6.3. Conclusiones	17
2.7. Experimento 5 : Influencia de la heurística	17
2.7.1. Contexto	17
2.7.2. Resultados	17
2.7.3. Conclusiones	18
2.8. Experimento 6 : Comparación de los algoritmos	18
2.8.1. Contexto	18
2.8.2. Resultados	18
2.8.3. Conclusiones	18
2.9. Experimento 7 : Influencia de la repartición de capacidades de los camiones	18
2.9.1. Contexto	18
2.9.2. Resultados	18
2.9.3. Conclusiones	18

IA - Práctica de búsqueda local

3

2.10. Experimento 8 : Influencia de la distribución de probabilidad de horas de entregas

18

2.10.1. Contexto

18

2.10.2. Resultados

18

2.10.3. Conclusiones

18

Introducción

El objetivo de esta práctica es analizar y resolver un problema de optimización logística mediante algoritmos de búsqueda local. Definiremos la representación del problema como estado y estudiaremos la influencia de los elementos que intervienen en esta búsqueda y que hemos visto a clase (estado inicial, función heurística y operadores) bajo diferentes condiciones sobre los parámetros del problema.

Usaremos dos tipos de algoritmos de búsqueda local : el Hill Climbing y el Simulated Annealing. Como el objetivo de la práctica no es la implementación de estos algoritmos, usaremos las herramientas proporcionadas por el package AIMA. En el caso del Simulated Annealing, también estudiaremos la influencia de los parámetros del algoritmo.

1. Representación del problema

El contexto del problema es el siguiente : Una empresa de transporte está contratada por una compañía para gestionar el encaminamiento de productos desde un almacén central hasta unos centros de producción.

Cada día, los centros realizan un conjunto de peticiones de diferentes tipos y cantidades de productos que se tienen que entregar a una cierta hora. El pago se realiza en función de la cantidad de productos entregados y la puntualidad con la cual han llegado al centro.

La empresa de transporte quiere optimizar estas entregas, sabiendo que manda un transporte a cada centro en cada hora en punto del día. No tenemos que gestionar la recogida de productos en el almacén, ni el recorrido de los transportes, ni la cantidad de camiones físicos que se necesitan : Suponemos que la empresa dispone de una flota suficiente para hacer todas las entregas en tiempo. Solucionaremos este problema para un solo día, pues las peticiones no entregadas no estarán desplazadas al día siguiente.

1.1. Identificación de los elementos relevantes

Para cada problema, tendremos unos elementos constantes, unos elementos específicos del problema y unos elementos variables que se tendrán que determinar para llegar a la solución.

1.1.1. Constantes

Centros de producción : Como lo hemos dicho, el número de centros esta fijado a 6.

Horas de entrega : Las entregas se harán a cada hora en punto del día. La primera se hará a las 8 y la última a las 17, para un total de 10 horas de entrega.

Transportes : Tendremos un transporte para cada hora del día y cada centro, es decir 60 transportes en total. La capacidad de los camiones usados sera de 500, 1000 o 2000kgs, en proporción variable.

Peticiones : Las peticiones se harán para una de las horas de entregas y para una cantidad de productos de 100, 200, 300, 400 o 500kgs.

1.1.2. Elementos específicos del problema

Peticiones : Todas las peticiones estarán generadas al principio de la resolución mediante unos parámetros especificados por el usuario. Por lo tanto, serán diferentes para cada problema. Se tendrán que especificar :

- El número de peticiones
- La distribución de probabilidad de cantidad de productos de las entregas
- La distribución de probabilidad de horas de entrega

Las peticiones estarán repartidas de forma equiprobable entre los centros. El tipo de producto pedido no tienen ninguna influencia.

Transportes : Se tendrá que especificar la distribución de probabilidad de capacidades de los transportes, es decir cuantos de los 60 transportes tendrán una capacidad de 500kgs, cuantos de 1000 y cuantos de 2000.

Parámetros de la búsqueda : Se precisará que tipo de estado inicial, algoritmo de búsqueda y función heurística se tienen que usar.

1.1.3. Elementos de la solución

Para llegar a la solución, se tendrán que determinar :

- La repartición de los 60 transportes, es decir que capacidad de transporte se asignará a cada hora de cada centro.
- La repartición de las peticiones en los transportes. El orden de las peticiones en el transporte no importa.

1.2. Definición del Estado

Hemos escogido una representación en acuerdo con la descripción del problema de la parte anterior.

1.2.1. Implementación

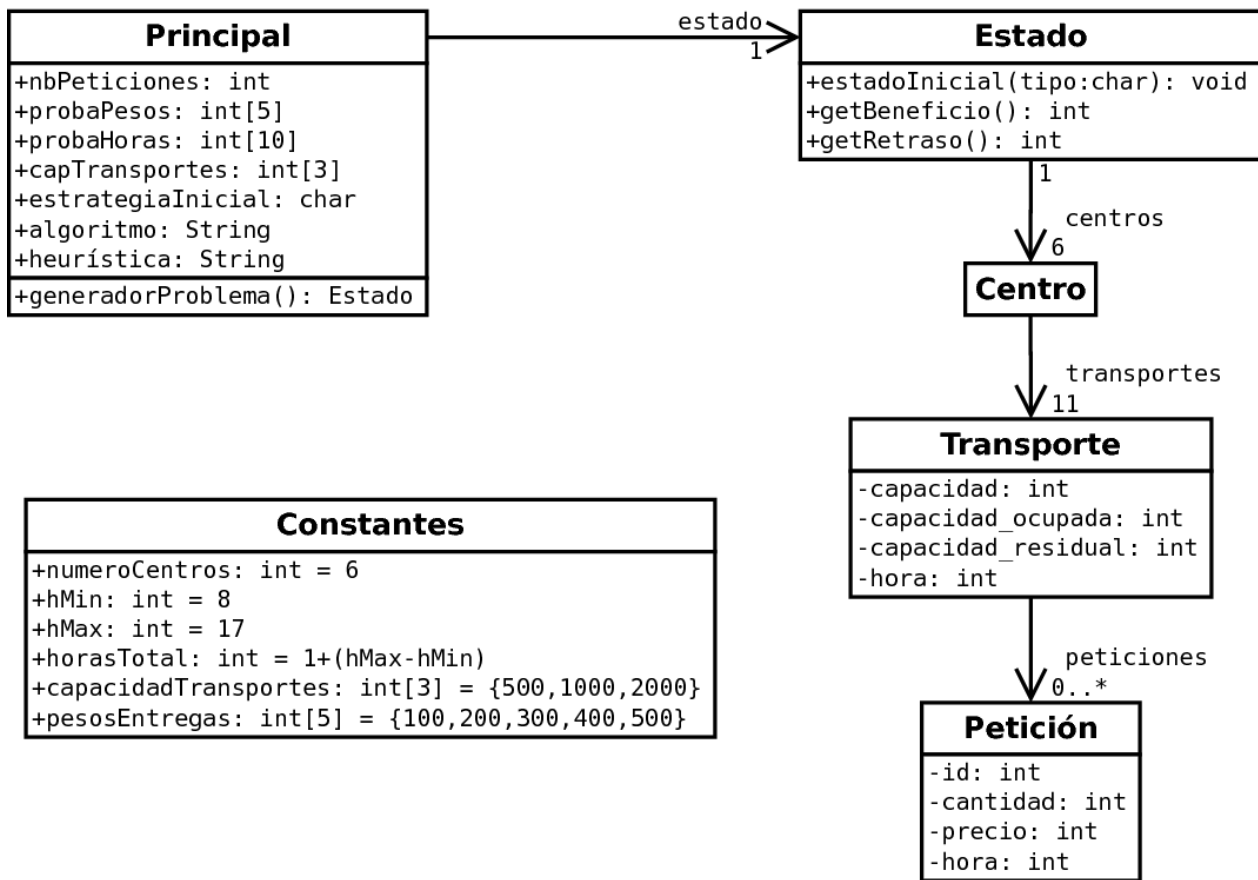


Fig. 1.1 : Diagrama de clases de representación del problema.

- Una clase singleton Constantes contiene los elementos comunes a todos los problemas.
- Los elementos específicos serán leídos desde un fichero .txt y usados por el Principal para generar un problema dado, es decir un conjunto de instancias de la clase Petición y un Estado “vacío”, donde las peticiones estarán repartidas entre las 6 instancias de clase Centro pero no entregadas. Se crearán 11 instancias de clase Transporte : una para cada hora del día y una para guardar las peticiones no entregadas.
- A continuación, se generará el estado inicial de la búsqueda, es decir que se atribuirá una capacidad a cada uno de los 60 transportes que corresponden a una hora (los Transporte de peticiones no entregadas tendrán capacidad máxima) y se repartirán las peticiones según la estrategia especificada.
- Durante la resolución del problema, las peticiones se desplazarán de un Transporte a otro, dentro del mismo Centro. También se podrá modificar la repartición de las capacidades entre todos los 60 transportes. Ver la sección siguiente para detalles sobre los operadores.

1.2.2. Tamaño del espacio de búsqueda

Si tenemos N peticiones, repartidas igualmente entre 6 centros ($\frac{N}{6}$ peticiones/centro), que se pueden afectar a cualquier de los $10 + 1$ transportes, contamos con $O(11^N)$ configuraciones posibles para la repartición de las peticiones.

Si añadimos que cada uno de los 60 transportes puede tener una de 3 capacidades, es decir $O(3^{60})$ configuraciones posibles, tenemos **un total de $O(11^N * 3^{60})$ estados posibles**.

Se tiene que tener en cuenta que en verdad, la suma de pesos de las peticiones afectadas a un transporte no puede exceder su capacidad, y que tenemos un número limitado de transportes de cada capacidad : Eso reduce el tamaño del espacio de búsqueda.

Este tamaño es bastante importante, pero considerando que hacemos una búsqueda local y que recorreremos solo una fracción del espacio, no es excesivo.

1.3. Operadores

Hemos implementado tres operadores diferentes :

1. Desplazamiento de una petición
2. Intercambio de capacidades de camiones
3. Intercambio de dos peticiones

1.3.1. Op1 : Desplazamiento de una petición

Descripción : Este operador desplaza una petición de un transporte a otro transporte del mismo centro (ya que la asignación de una petición a un centro no es cambiante). Está implementado para que sea posible desplazar una petición desde o hasta el grupo de peticiones no entregadas, pero no desde un transporte hasta sí mismo.

Efecto : Se disfruta de los “huecos” que pueden existir o crearse dentro de los transportes, por ejemplo después de un cambio de capacidad de camiones, para entregar peticiones no entregadas o entregadas con retraso.

Condición de aplicación : Este operador se puede aplicar sólo si la hora de destino tiene una capacidad disponible suficiente para añadir la petición.

Factor de ramificación : Para un conjunto de N peticiones, el factor de ramificación de este operador es de $O(10N)$, ya que cada petición se puede desplazar a las 10 otras horas de su centro. Es lineal, y debemos tener en cuenta que la mayor parte de los desplazamientos no cumplirán la condición de aplicación.

Justificación de la elección : Hemos decidido implementar este operador porque es lo más evidente y lo más simple para desplazar peticiones, con un coste lineal.

Variante : Una variante de este operador sería prohibir el desplazamiento de peticiones hasta el grupo de no entregadas. El factor de ramificación pasaría a ser $O(9N)$, y en práctica se eliminaría la generación de muchos sucesores, ya que mover la petición hasta las no entregadas es el único movimiento que siempre cumple la condición de aplicación. Además, estos estados no pueden ser escogidos por el Hill Climbing porque su heurística siempre es peor.

Sin embargo, decidir de no entregar una petición puede ser una decisión útil en el caso del Simulated Annealing, ya que permite la evolución de más estados. Entonces, hemos decidido guardar la primera versión del operador.

1.3.2. Op2 : Intercambio de capacidades de camiones

Descripción : Este operador intercambia las capacidades de dos transportes, que pueden ser de dos centros diferentes. Sólo se cambia el valor de la capacidad, no se intercambian las instancias de Transporte (y por lo tanto, las peticiones). Así, se conserva la proporción de transportes de cada capacidad.

Sin embargo, el intercambio de camiones solo no cambia ninguna heurística. Por eso, hemos decidido combinarlo con el desplazamiento de una petición : Se intenta desplazar una petición no entregada al transporte que ha aumentado su capacidad ; si no es posible, se escoge una petición entre las que se entregan más tarde.

El operador está implementado para que no se puedan intercambiar dos camiones que tengan la misma capacidad, y por supuesto que no se pueda cambiar la capacidad máxima del transporte correspondiente a las peticiones no entregadas.

Efecto : Permite cambiar la capacidad total disponible en un centro o repartir-la de forma diferente entre las horas. Así, se podría poner más capacidad en centros que tienen una cantidad de peticiones más grande, o en las horas más tempranas del día para reducir el retraso.

Condición de aplicación : Este operador se puede aplicar sólo si la capacidad ocupada de cada transporte es inferior su nueva capacidad.

Factor de ramificación : Cada transporte puede intercambiar su capacidad con una diferente. Si tenemos una repartición de capacidades $\{C1, C2, C3\}$, el factor de ramificación es $(C2 + C3)^{C1} * (C3 + C1)^{C2} * (C1 + C2)^{C3} = 40^{60}$ si tenemos una repartición equiprobable. Es constante y considerablemente más pequeño en práctica.

Justificación de la elección : Intercambiar dos capacidades es la única forma de manipular este parámetro sin cambiar la repartición de valores, ya que tenemos 60 cantidades para 60 transportes. El desplazamiento de petición lo realizamos considerando el uso primero de este operador, que es liberar capacidad para entregar peticiones no entregadas o retrasadas.

1.3.3. Op3 : Intercambio de dos peticiones

Descripción : Este operador intercambia dos peticiones del mismo centro, pero de dos horas diferentes. Se puede hacer el intercambio con una petición no entregada y también se pueden intercambiar dos peticiones de mismo peso.

Efecto : Permite realizar desplazamientos de peticiones que no se conseguirían con los operadores precedentes, por ejemplo intercambiar una petición adelantada con una retrasada.

Condición de aplicación : Este operador se puede aplicar sólo si los transportes tienen capacidad suficiente. Específicamente, si las peticiones no tienen el mismo peso, el transporte de la más pequeña debe tener bastante capacidad residual para contener la diferencia de pesos.

Factor de ramificación : Cada petición se puede intercambiar con todas las otras peticiones del centro, con N peticiones el factor de ramificación es $N^{\frac{N}{6}}$, considerablemente mas elevado que para los dos previos operadores.

Justificación de la elección : Hemos decidido implementar este algoritmo al ver el porcentaje de estados que no mejoraban : Ofreciendo mas posibilidades de evolución de los estados, esperamos obtener una mejoría consecuente de la solución a pesar del factor de ramificación elevado.

1.4. Funciones Heurísticas

1.4.1. Maximización del beneficio

Definición de la variable evaluada : Para cada petición, la compañía pagará a la empresa de transporte un importe basado sobre el precio base de las peticiones, indicado en la tabla 1.1. Este precio depende únicamente de la cantidad de productos pedida, y la puntualidad de la entrega.

Peso	Precio
100 y 200kg	<i>peso</i> euros
300 y 400kg	1,5x <i>peso</i> euros
500kg	2x <i>peso</i> euros

Tabla 1.1 : Precio base de las entregas.

El importe pagado para cada petición entregada será el precio base menos unos 20 % del mismo para cada hora de retraso, es decir que para mas de 5h de retraso le tocara pagar a la empresa de transporte.

Si una petición no esta entregada en el día, la empresa de transporte tendrá que pagar el precio base de la petición mas unos 20 % del mismo para cada hora hasta las 17.

El beneficio es la suma del importe (positivo o negativo) de todas las peticiones.

Ejemplo : Para cada peso de petición, en la tabla 1.2 se indican los importes correspondientes a una entrega en tiempo, una entrega con 1 y 7 horas de retraso y no entrega, considerando que las peticiones se tenían que entregar a las 10.

Peso	En tiempo ($\leq 10h$)	Retraso 1h ($=11h$)	Retraso 7h ($=17h$)	No entregada
100kg	100	80	-40	-240
200kg	200	160	-80	-560
300kg	450	360	-180	-1080
400kg	600	480	-240	-1440
500kg	1000	800	-400	-2800

Tabla 1.2 : Ejemplos de importes.

Contextualización : La penalización para retraso y no entrega parece realista en comparación con lo que esperaría una empresa en realidad. Sin embargo, el hecho de que el beneficio no sea lineal comparado con el peso y que el tipo de producto no afecta corresponde seguramente a una simplificación del problema, ya que en verdad los productos serían mas o menos caros y críticos (mas penalización para retraso) y el peso tendría a disminuir para cantidades mas grandes.

1.4.2. Minimización del tiempo

Definición de la variable evaluada : Para esta heurística, consideraremos para cada petición la diferencia *absoluta* entre la hora de entrega deseada y la hora de entrega efectiva. Pues, una petición entregada con antelación afecta esta heurística de forma tan negativa como una petición entregada con un retraso equivalente.

Si la petición no está entregada en el día, consideraremos la diferencia entre la hora de entrega deseada y las 8 del día siguiente. Por ejemplo : Una petición que se debía entregar a las 10 y que no fue entregada tendrá un “retraso” de 22h.

Sumaremos todas estas cantidades para obtener el valor de la heurística.

Contextualización : Esta heurística representa un otro aspecto de la realidad de las empresas : Cuando se usa el método justo a tiempo, recibir productos con antelación y tener que gestionar el stock implica también una pérdida de productividad, aunque en realidad una antelación de una hora no tendría mucho impacto, y en general la antelación tendría menos efectos que el retraso, que puede potencialmente paralizar la producción si el producto transportado es crítico.

Además, se tendrá que tener en cuenta que un valor bueno del primer heurística no implica necesariamente un valor bueno del segundo.

1.5. Estados Iniciales

En un primer paso, hemos intentado generar estados diferentes con lógicas muy distintas, con la idea de buscar nuestros estados iniciales entre un grupo más amplio y en particular elegir dos estados que tengan características diferentes (tiempo de generación, complejidad del algoritmo, posibilidades de evolución, calidad de la solución inicial).

Al final, hemos implementado cuatro tipos de estados iniciales que nos han parecido interesantes :

1. “Cuanto antes”
2. “Por hora”
3. “First-fit”
4. “Vacío”

1.5.1. Ei1 : Cuanto antes

Repartición de los camiones : Se reparten las capacidades de transporte de forma igual entre los centros, y se asignan los transportes con más capacidad a las horas más tempranas.

Repartición de las peticiones : Las peticiones están entregadas cuanto antes : Para cada centro, están ordenadas de forma ascendente por hora de entrega, descendente por precio y asignadas a los transportes en orden, empezando por el mas temprano que tenga capacidad residual.

Calidad : Este estado inicial no es muy costoso. Llega a una buena solución, a veces óptima para la heurística de maximización del beneficio, pero puede introducir mucha antelación y llevar a una solución mediocre para la heurística de minimización del tiempo. Además, la repartición de los camiones puede ser no óptima, por ejemplo si un centro se ve asignado una cantidad de peticiones mas importante que otro.

1.5.2. Ei2 : Por hora

Implementación : Las peticiones están ordenadas por precio y hora. Para cada petición, se intenta entregarla en su hora de entrega con el algoritmo siguiente :

1. Si no hay capacidad asignada al transporte, se asigna la capacidad mínima disponible y se entrega la petición.
2. Si hay una capacidad libre suficiente, se entrega la petición.
3. Si hay una capacidad no suficiente y una capacidad más grande es disponible , se asigna una capacidad mas grande y se entrega la petición.

4. Si no se puede asignar una capacidad más grande a la hora de entrega, se intenta entregar la petición en la hora antes, siguiendo el mismo algoritmo.
5. Si se llega a las 8, se intenta entregar la petición en la hora siguiente, siempre con el mismo algoritmo.
6. Finalmente, no se entrega la petición.

Al final, si quedan transportes sin capacidad asignada, se asignan las capacidades que quedan.

Calidad : Este algoritmo es mucho mas costoso, pero lleva a una solución de calidad para ambos heurísticas.

1.5.3. Ei3 : First-Fit

Repartición de los camiones : Los camiones se asignan como en el estado “Cuanto antes”.

Repartición de las peticiones : Se recorren todas las peticiones (no ordenadas), intentando entregarlas en su hora de entrega. Después, iterativamente, se intentan entregar las peticiones no entregadas en las horas más tempranas de la suya hasta las 8 y si no se tiene éxito, se intenta hacerlo en las horas después hasta las 17.

Calidad : Similar al estado “Cuanto antes”, este estado es más adaptado a la heurística de minimización del tiempo.

1.5.4. Ei4 : Vacío

Repartición de los camiones : Los camiones se asignan como en el estado “Cuanto antes”.

Repartición de las peticiones : Las peticiones se quedan todas no entregadas.

Calidad : Este estado es lo más barato, pero genera la peor solución posible.

2. Experimentos

2.1. Implementación

2.1.1. Generación de los problemas

Las pruebas para los diferentes experimentos han sido ejecutadas sobre un conjunto de diferentes escenarios de el problema. Esos escenarios han sido reutilizado cada vez que se tenia que hacer pruebas sobre instancias generadas con los mismos parametros. Así la aleatoriedad en la generación de el problema ha tenido un impacto mucho menor sobre la fiabilidad de los resultados obtenidos. Por los experimentos que han necesitado la generación de nuevas instancias de los problemas, hemos utilizado ficheros estructurados así:

- Línea 1 : Número de diferentes instancias - 1 Integer
- Línea 2 : Número de peticiones - 1 Integer
- Línea 3 : Distribución de capacidad de los camiones - 3 Integers para 500, 1000 y 2000kg - La suma de los 3 debe ser igual a 60.
- Línea 4 : Distribución de pesos de las peticiones - 5 Floats para 100 hasta 500kg - La suma de los 5 debe ser igual a 1.
- Línea 5 : Distribución de las horas de entrega - 10 Floats para 8h hasta 17h - La suma de los 10 debe ser igual a 1.

Los problemas así generados, han sido memorizados en ficheros con la siguiente estructura:

- Línea 1 : Distribución de capacidad de los camiones - 3 Integers para 500, 1000 y 2000kg - La suma de los 3 debe ser igual a 60.
- Línea 2 : Número de peticiones - 1 Integer
- Líneas n : Peticiones: centro de entrega, identificativo, cantidad, hora de entrega - 4 Integer

2.1.2. Workflow de ejecución de pruebas

El programa efectúa las pruebas sacando los parámetros necesarios de ficheros de texto. Los ficheros están organizados en la siguiente manera :

- Línea 1 : Número de pruebas con estos parámetros - 1 Integer
- Línea 2 : Estrategia para generar el estado inicial - 1 Char
- Línea 3 : Tipo de algoritmo - String - Puede ser "hc.º" "sa".
- Línea 4 : Tipo de heurística - String - Puede ser "gan.º" "ret".
- Línea 5 : Parametros del Simulated Annealing - Numero de iteraciones, L y K - 3 Integer
- Línea 6 : Parametro del Simulated Annealing - λ - 1 Double

Las últimas dos líneas aparecen solo cuando vamos a utilizar el Simulated Annealing.

Cada experimento, pero, necesita una batería de pruebas con diferentes parámetros. Así tenemos una carpeta para cada experimento con diferentes ficheros para generar pruebas que resuelven las instancias de el problema generados. Un *bash script* recibe en input el numero del experimento y resuelve el problema con los ficheros de prueba pertinentes.

2.1.3. Recuperación de resultados

Para cada problema, son generados dos ficheros de salida, uno con el estado inicial y el otro con el estado final. En estos ficheros tenemos:

- El valor de cada heurística
- Los centros, y para cada centro :
 - Cantidad de peticiones no entregadas
 - Las horas y por cada hora de entrega
 - La capacidad total
 - La capacidad ocupada

- La capacidad libre
- Las peticiones no entregadas y por cada petición
 - ◇ El identificador
 - ◇ La hora de entrega supuesta
 - ◇ La cantidad
 - ◇ El precio

También hay un fichero de estadísticas por cada experimento a que vamos añadiendo datos sobre las pruebas. Este fichero está organizado como un CSV y por cada prueba tenemos registrados:

- El tiempo de generación de el estado inicial.
- El numero de nodos desarrollados.
- El beneficio.
- El porcentaje de mejoría de el beneficio.
- El retraso
- El porcentaje de mejoría de el retraso.
- El tiempo de ejecución de la búsqueda.

Una línea vacía y una línea con el título del fichero de input dividen los diferentes grupos de pruebas (resultado de diferentes ejecuciones de el programa).

2.2. Generalidades

2.2.1. Condiciones de experimento por defecto

Las condiciones de experimento por defecto seran :

- 250 peticiones
- Reparticion equiprobable de los pesos y horas de entrega
- Reparticion equiprobable de las capacidades de transportes
- Heuristica de maximizacion del beneficio
- Algoritmo de Hill Climbing

Seran usadas para todos los experimentos cuando no se precisan otros valores. Ademas, despues de los dos primeros experimentos se usaran el estado inicial y conjunto de operadores definidos en ellos.

2.2.2. Comentario sobre el numero de pruebas

Si no se menciona un numero diferente, haremos 100 pruebas para cada valor de los elementos evaluados probado. Este numero elevado lo justificamos por la observacion que hemos hecho durante los experimentos de debug : En muchos casos, pasa que el problema no puede evolucionar desde su estado inicial (no se puede aplicar ningun operador), asi que un numero de pruebas mas bajo habria llevado a resultados no relevantes.

En consecuencia, al largo de los experimentos tambien consideraremos el porcentaje de estados mejorados.

2.2.3. Comentario sobre valores empiricos

Algunos de los valores que vamos a comprobar en estos experimentos, en particular el tiempo de ejecucion, pueden variar en funcion del problema generado o incluso de factores como la potencia y ocupacion del procesador.

Guardamos en mente que lo interesante es comparar el ratio de los valores para diferentes condiciones, no considerar el valor en si mismo.

2.3. Experimento 1 : Elección del conjunto de operadores

2.3.1. Contexto

Condiciones del experimento : Hemos escogido el estado inicial “Por hora”, que se puede mejorar bastante frecuentemente y no consume demasiado tiempo. Se usaran los parametros por defecto.

Elementos comparados : Queremos elegir el conjunto de operadores que vamos a usar en el resto de experimentos, entre los tres operadores que tenemos implementados : *Desplazamiento de petición (Op1)*, *intercambio de camiones (Op2)* y *intercambio de peticiones (Op3)*. Hemos decidido probar dos conjuntos :

1. Op1 + Op2
2. Op1 + Op2 + Op3

Hemos decidido incluir imperativamente los operadores 1 y 2 en el conjunto, ya que Op1 es el único operador que nos permite desplazar peticiones no entregadas a las entregadas y Op2 es el único que mueve los camiones. Principalmente, estudiaremos la influencia del operador Op3 sobre el tiempo de ejecución, la bondad de la solución y el porcentaje de estados que mejoran.

2.3.2. Resultados

El porcentaje de mejoría del beneficio se calcula con la formula : $\frac{ben.E_f - ben.E_i}{ben.E_f}$. Se ha calculado solo considerando los estados mejorados, y luego en general.

Conjunto	Estados mejorados	Beneficio	% de mejoría (global)	Tiempo de ejecución (por iteración)
Op1 + Op2	5	97452	2,02 % (0,10 %)	30,07ms (25,99ms)
Op1 + Op2 + Op3	16	97533	1,16 % (0,19 %)	191,8ms (119,9ms)

Tabla 2.1 : Resultados del experimento 1.

2.3.3. Conclusiones

Como lo habiamos previsto, el operador Op3 provoca la evolución de mas estados. Sin embargo, en media la solución hallada es menos buena. Además, el tiempo de ejecución esta multiplicado por mas de 4.

Al comparar las ventajas e inconvenientes, deducimos que la mejora no es bastante significativa para justificar la perdida de tiempo : En el caso general usaremos **el primer conjunto de operadores, Op1 + Op2**. Sin embargo, recordamos que el operador Op3 se podrá usar para obtener resultados en casos donde pocos estados evolucionan.

2.4. Experimento 2 : Elección del estado inicial

2.4.1. Contexto

Condiciones del experimento : Se haran 20 pruebas para cada tipo de estado inicial, ya que algunos tardan mucho en ejecutarse. Aparte de eso, se usaran los parametros por defecto.

Elementos comparados : Queremos elegir el estado inicial que vamos a usar para el resto de los experimentos, entre los 4 que hemos implementado :

- Ei1 : “Cuanto antes”
- Ei2 : “Por hora”
- Ei3 : “First-fit”
- Ei4 : “Vacío”

Consideraremos el tiempo de generación de este estado y la influencia en la resolución del problema, es decir la bondad de la solución hallada, el numero de iteraciones y el tiempo de ejecución.

2.4.2. Resultados

	Tiempo de generación	Beneficio (% de mejoría)	#iteraciones	Tiempo de ejecución (por iteración)
Ei1	0,948ms	96633 (0,00 %)	1,00	45,75ms (45,75ms)
Ei2	3,46ms	95670 (0,161 %)	1,2	55,87ms (42,89ms)
Ei3	0,979ms	79364 (0,894 %)	1,79	66,40ms (38,42ms)
Ei4	0,0212ms	89161 (139,6 %)	215	36486ms (170,1ms)

Tabla 2.2 : Resultados del experimento 2.

2.4.3. Conclusiones

Se destacan dos estados que claramente llevan a una solución de calidad : Ei1 y Ei2. Ei1 lleva a una solución un poco mejora y es mas rapido que generar, sin embargo la solución generada no permite que se mejora ningun estado!

Ei3 genera soluciones menos buena, pues mejoran un porcentaje mas elevado de estados, sin embargo la solución final hallada es muy inferior a la de los dos primeros.

Como previsto, Ei4 consume mucho demasiado tiempo, y tampoco se llega a una solución mejor que la de los dos primeros.

Para el resto de los experimentos, usaremos **la estrategia inicial Ei2 : “Por hora”**.

2.5. Experimento 3 : Influencia de los parámetros del Simulated Annealing

2.5.1. Contexto

Condiciones del experimento : Se usaran los parametros por defecto con el algoritmo de Simulated Annealing.

Analiza de los parámetros : El algoritmo de Simulated Annealing se basa en una función dicha “de temperatura” que determina si un estado sucesor escogido al azar se escoge como nuevo estado del problema o no. Esta función esta implementada en el package AIMA con la formula :

$$\tau = (t - t \% L) + L$$

$$T = K \cdot e^{-\lambda \tau}$$

La variable t es el número de iteraciones del algoritmo. Vemos que la función τ es una escalera, que hace que la temperatura sólo evolucionará cada L iteraciones. La constante λ es proporcional a la velocidad de convergencia de la función y K es la amplitud. También se tiene que fijar el número de iteraciones total n_{it} que realiza el algoritmo.

En la tabla 2.3 se encuentran los resultados con los parámetros por defecto que se han usado hasta aqui. Para cada variable, determinaremos el valor que da el mejor resultado y lo usaremos para los experimentos siguientes.

Veremos el efecto de los parámetros sobre el tiempo de ejecución, la bondad de la solución y el porcentaje de estados mejorados.

N_{it}	λ	L	K	Estados mejorados	Beneficio	Mejoría	Tiempo de ejecución
10 000	0,045	100	20	39 %	98123	0,80 %	733ms

Tabla 2.3 : Parámetros por defecto.

Número de pruebas : 100 pruebas para cada configuración.

2.5.2. Resultados

Influencia de n_{it} :

Guardamos los valores por defecto $\lambda = 0,045$, $L = 100$ y $K = 20$.

N_{it}	Estados mejorados	Beneficio	Mejoría	Tiempo de ejecución
1 000	30	97937	0,618 %	101ms
10 000	39	98123	0,800 %	733ms
100 000	38	98173	0,860 %	6100ms

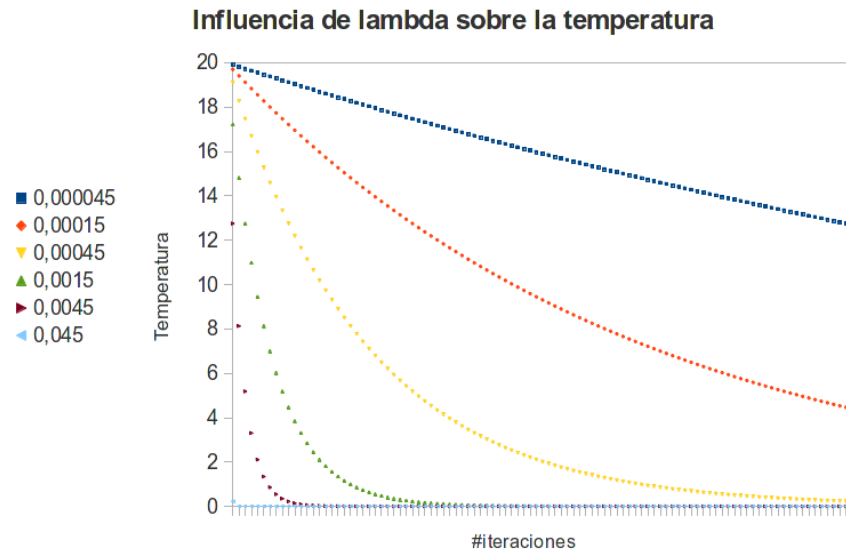
Tabla 2.4 : Influencia de n_{it} .

La influencia del número de iteraciones es bastante intuitiva : El tiempo de ejecución aumenta, y tambien se aumenta la bondad de la solucion hallada, ya que se hacen mas pasos hasta ella.

Constatamos que al cabo de un momento, el algoritmo llega a un extrema local (cuando la función de temperatura ya no es suficiente para escoger un estado peor), y entonces es inutil hacer mas iteraciones : La solución hallada no mejora significativamente.

Para continuar los experimentos, escogeremos $N_{it} = 10000$ iteraciones.

Influencia de λ : La constante λ representa la velocidad de convergencia de la función de temperatura. Podemos ver su efecto sobre el valor de T en la figura Fig. 2.1 :

Fig. 2.1 : Influencia de λ sobre la temperatura.

Guardamos los valores por defecto $L = 100$ y $K = 20$; $N_{it} = 10000$. Se nota que el tiempo de ejecución no varia significativamente (700ms), asi que no mostraremos su valor para el resto de los experimentos.

λ	Estados mejorados	Beneficio	Mejoría
0.000045	41	98185	0,869 %
0,00045	40	98223	0,915 %
0,0045	39	98148	0,833 %
0,045	39	98123	0,800 %
0,45	30	97908	0,575 %

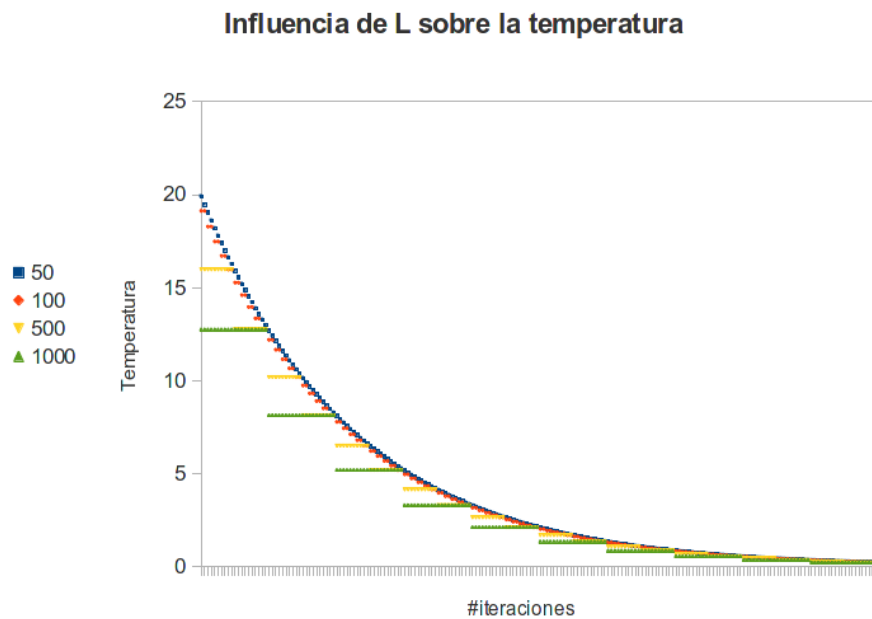
Tabla 2.5 : Influencia de λ .

El valor de lambda debe ser suficiente para tener una funcion de temperatura que converga en 10 000 iteraciones, pero bastante pequeno para que no converga demasiado rapido.

Escogemos $\lambda = 0,00045$ para el resto de experimentos.

Influencia de L :

La constante L representa la granularidad de la función de temperatura, es decir el numero de iteraciones que se hacen entre cada canvio del valor de la función. Podemos ver su efecto sobre el valor de T en la figura Fig. 2.2 :

Fig. 2.2 : Influencia de L sobre la temperatura.

Guardamos el valor por defecto $K = 20$; $N_{it} = 10000$ y $\lambda = 0,00045$.

L	Estados mejorados	Beneficio	Mejoría
10	40	98172	0,857 %
100	40	98223	0,915 %
500	37	98044	0,721 %
1000	36	98140	0,820 %

Tabla 2.6 : Influencia de L .

Constatamos que una granularidad demasiado importante disminuye el porcentaje de estados mejorados, pero una granularidad demasiado fina también impacta negativamente el resultado del algoritmo.

Decidimos conservar el valor $L = 100$ para el resto de experimentos.

Influencia de K :

La constante K representa l'amplitud de la función de temperatura. Podemos ver su efecto sobre el valor de T en la figura Fig. 2.3 :

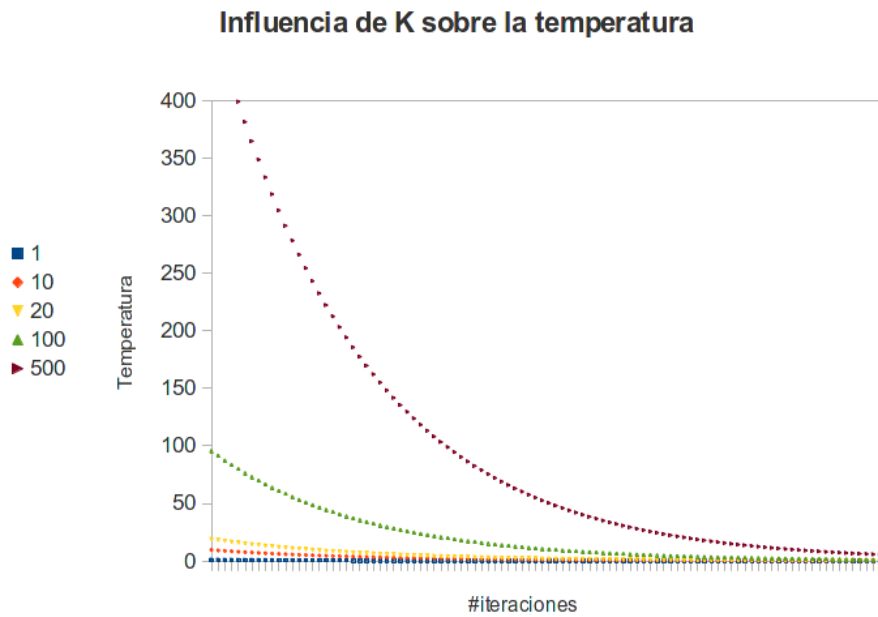


Fig. 2.3 : Influencia de K sobre la temperatura.

Ejecutamos las pruebas con los valores $N_{it} = 10000$, $\lambda = 0,00045$ y $L = 100$.

K	Estados mejorados	Beneficio	Mejoría
1	38	98195	0,882 %
10	35	98134	0,813 %
20	40	98223	0,915 %
100	39	98067	0,760 %
500	11	97428	0,0764 %

Tabla 2.7 : Influencia de K .

K es el factor que adapta la magnitud de la función de temperatura a la cantidad a la cual se compara dentro del algoritmo del Simulated Annealing. Esta cantidad es la diferencia entre los valores de la heurística del estado y de su sucesor. Decidimos conservar el valor $K = 20$.

2.5.3. Conclusiones

Al ver el resultados de los tests, escogiremos como parámetros del Simulated Annealing :

- 10 000 iteraciones
- $\lambda = 0,00045$ para el coeficiente de la exponencial
- $L = 100$ para la granularidad
- $K = 20$ para el coeficiente multiplicativo

2.6. Experimento 4 : Influencia del número de peticiones

2.6.1. Contexto

Condiciones del experimento : Se usaran los parametros por defecto.

Elementos comparados : Queremos evaluar el impacto del número de peticiones sobre el tiempo de resolución del problema y la bondad de la solución hallada. Probaremos resolver el problema con los parametros por defecto y entre 200 y 400 peticiones, por pasos de 50.

Recordamos que el número de petición en si mismo no es relevante : Lo que tiene un real impacto en el problema es el ratio del volumen total de peticiones $V_p \simeq \#p * 300$ kgs (con la equiprobabilidad de pesos, las peticiones tienen un volumen medio de 300kgs) por el volumen de transporte disponible $V_t = 20 * 500 + 20 * 1000 + 20 * 2000 = 70000$ kgs (con una repartición equiprobable de las capacidades).

2.6.2. Resultados

#peticiones ($\frac{V_p}{V_t}$)	Tiempo de generación	#iteraciones	Estados mejorados	Beneficio (mejoría)	Tiempo total (por iteración)
200 (0,85)	0,693ms	2,16	24	94014 (0,297 %)	74,02ms (35,78)
250 (1,07)	3,460ms	1,20	24	95670 (0,161 %)	55,87ms (42,89)
300 (1,29)	1,44ms	1,00	0	69027 (0,00 %)	25,14ms (25,14ms)
350 (1,50)	1,26ms	1,00	0	35226 (0,00 %)	27,30ms (27,30ms)
400 (1,71)	1,49ms	1,00	0	-584 (0,00 %)	28,24ms (28,24ms)

Tabla 2.8 : Resultados del experimento 4.

2.6.3. Conclusiones

Vemos que el valor por defecto $\#p=250$ halla los mejores resultados en terminos de bondad de la solución, y vemos que para los demás no se “resuelve” realmente el problema, ya que en el primer caso todas las peticiones se entregan sin que sea necesario hacer mucha optimización, y en los siguientes los estados iniciales no mejoran ya que no se pueden aplicar ninguno de los operadores.

El coste superior en tiempo traduce el hecho de que se hace efectivamente la búsqueda y la optimización de la solución. Concluimos que para tener resultados interesantes, el factor $\frac{V_p}{V_t}$ debe ser ligeramente superior a 1.

2.7. Experimento 5 : Influencia de la heurística

2.7.1. Contexto

Condiciones del experimento : Se usaran los parametros por defecto.

Elementos comparados : Estudiaremos la influencia de la heurística sobre el porcentaje de estados mejorados y la bondad de la solución hallada. Compararemos los valores de ambas heurísticas cuando se usa una u otra.

Se harán pruebas para diferentes número de peticiones para ver el impacto de la complejidad del problema sobre la resolución.

2.7.2. Resultados

#peticiones	#iteraciones	Estados mejorados
200	6,88 / 2,16	69 / 24
250 n.it 3,07 1,20 ben 97405 mej 0,0523 ret 747,5 / 754,1 mej 1,211 / 0,268 t 62,02/21,37		
300 n.it 1,1 ben 69022 mej -0,00683 ret 2046,39 / 2046,16 mej 0,0113 / 0 t 26,60/24,56		

Tabla 2.9 : Resultados del experimento 5.

2.7.3. Conclusiones

2.8. Experimento 6 : Comparación de los algoritmos

2.8.1. Contexto

Número de pruebas : 100 para cada número de peticiones y algoritmo diferente.

2.8.2. Resultados

SA-gan

#peticiones	Estados mejorados	Beneficio	Mejoría	ret	Tiempo de ejecucion	
200	89	94445	0,748 %	282	-344 %	526ms
250						
300	0	69027	0 %	2046	0 %	836ms

Tabla

SA-ret

#peticiones	Estados mejorados	Beneficio	Mejoría	ret	Tiempo de ejecucion	
200	7	93442	-0,310 %	74,75	1,07 %	628ms
250	83	70853	-27,3 %	664	11,2 %	711ms
300	100	16909	-76,4 %	1431	30,0 %	854ms

Tabla

retrso ¿baja del beneficio

2.8.3. Conclusiones**2.9. Experimento 7 : Influencia de la repartición de capacidades de los camiones****2.9.1. Contexto**

100

2.9.2. Resultados

1 : 30 15 15 t. gen init : 1,95 n.it : 1 ben 62989 ret 1517 t 30,05

2 : 15 30 15 gen 1,73 n.it : 1 ben 90560 ret 929 t 28,16

3 : 15 15 30 gen 0,484 n it : 5,3 57 % de mejora ben : 115851 (1,16) ret 147 (14,5) t 218,7 (44,74)

2.9.3. Conclusiones**2.10. Experimento 8 : Influencia de la distribución de probabilidad de horas de entregas****2.10.1. Contexto**

100

2.10.2. Resultados

todo junto : t gen 1,00 n it 1,15 ben 97201 (0,135) ret 768 (0,299) t g 32,10 (26,49)

1era 4 : t gen 1,19 n it 1,09 mej 3 ben 97298 (0,0726) ret 759 (0,213) t 32,66 (29,42)

untimas 4 t gen 0,94 n it 1,28 mej 8 ben 97673 (0,234) 746 (0,63) 33,46 (25,27)

2 los 2 ult t gen 0,819 n it 1,32 mej 11 ben 97547 (0,313) ret 741 (0,653) 41,53 (32,34)

8 11 14 17 0,911 1,08 mej 3 ben 96740 (0,0787) ret 779 (0,166) 32,98 (27,67)

8 12 13 17 0,832 1,12 4 97625 (0,108) 769 (0,195) 30,05 (25,91)

2.10.3. Conclusiones**Conclusión**