

UNA HEURÍSTICA PARA DETERMINAR LA SECUENCIA DE ENTREGA DE UN LOTE DE PEDIDOS

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es determinar la secuencia más favorable en una empresa de comidas rápidas, que permita cumplir con los tiempos de entrega comprometidos con los clientes. Se presentó la ciudad como un dígrafo, se usó el algoritmo Dijkstra para determinar las rutas y se utilizó el algoritmo Restrepo(R)¹, para determinar el orden de entrega más favorable de un lote de pedidos.

PALABRAS CLAVES: Heurísticas, entrega de pedidos.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to determine the most favorable sequence for delivering orders and the route that allows the company to carry out delivery times previously agreed with customers. The city is presented as a digraph. The Dijkstra Algorithm is used to determine the shortest distances. The R Algorithm is used to determine the most favorable delivery order within an order lot.

KEYWORDS: *Heuristic, Delivery order*

1. INTRODUCCIÓN

La búsqueda es necesaria en la solución de problemas y normalmente involucra introducir *heurísticas*. Las heurísticas son criterios, métodos, o principios para decidir cuál de varias alternativas de acción promete ser la más efectiva para cumplir con una meta. Representan un compromiso entre: simplicidad y poder discriminatorio entre opciones buenas y malas. Las heurísticas no garantizan la solución más efectiva, pero muchas veces lo hacen. En problemas complejos, las heurísticas juegan un papel fundamental para reducir el número de evaluaciones y para obtener soluciones dentro de restricciones de tiempos razonables¹.

En el artículo titulado “ Solución al problema de entrega de pedidos utilizando Recocido Simulado”, publicado en la revista N° 24 de Scientia et Technica de la Universidad Tecnológica de Pereira se abordó el problema de entrega de pedidos de una empresa de servicios de comida rápida a domicilio con la heurística Recocido Simulado. En el presente artículo se retoma el mismo problema pero tratado con el algoritmo R, propuesto como una alternativa para darle solución a esta problemática.

¹ RESTREPO, Jorge Hernán, SÁNCHEZ, John Jairo. Solución al problema de entrega de pedidos con técnicas heurísticas. Tesis Maestría. Universidad Tecnológica de Pereira 2003

¹ MORALES, Eduardo. Planificación, Búsqueda y Aprendizaje por Refuerzo. <http://w3.mor.itesm.mx/~emorales/Cursos/Optimiza/principal.html>

JORGE HERNÁN RESTREPO C

Ingeniero Industrial, Ms.C

Profesor Auxiliar

Ingeniería Industrial

Universidad Tecnológica de Pereira

jhrestrepoco@utp.edu.co

JOHN JAIRO SÁNCHEZ C.

Economista, Ms.C

Profesor Asistente

Escuela de Tecnología Industrial

Universidad Tecnológica de Pereira

jasaca@utp.edu.co

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En una empresa que presta el servicio de comidas rápidas a domicilio a toda la ciudad, existe una persona encargada de recibir las solicitudes de los diferentes pedidos, los cuales van sucediendo cada uno en un tiempo tp_i . El primer pedido se hizo en el tiempo $tp_1=0$, y de ahí en adelante se van generando el resto de pedidos, y así sucesivamente se van registrando todos los tiempos en los cuales se efectúan los diferentes pedidos. En la medida que se recibe cada pedido, la empresa compromete un tiempo con el cliente (tc_i), lo que indica que el cliente espera su pedido en el momento (tp_i), el cual está constituido por el tiempo en que se efectúa el pedido (tp_i) más el tiempo comprometido (tc_i). El tiempo en que el cliente espera el pedido, se compara con el tiempo que demora el domicilio desde que arranca con el pedido, hasta que llega al nodo y sale de allí (te_i). La empresa tiene como política formar un lote de pedidos, el primer pedido arranca en $tp_1=0$, y se esperan solicitudes hasta el minuto veinte (20). A partir de este momento el domicilio inicia el proceso de distribución de los pedidos, a este momento se le denomina (m_i). El punto de venta, lugar donde se inicia el recorrido para la entrega de los pedidos es llamado (Origen). La diferencia de la comparación entre el tiempo que el cliente espera el pedido y el tiempo que demora el domicilio, da como resultado si el pedido llegó a tiempo o tarde. Es aquí donde tiene importancia la medida de desempeño utilizada N^T (total de pedidos tardíos).

Para comprender mejor el problema, es necesario tener en cuenta las siguiente variables:

1. tp_i = Momento t en que se efectúa el pedido
2. p_i = Vector que almacena el nodo del pedido
3. tc_i = Tiempo comprometido para la entrega del pedido a partir del momento t .
4. te_i = Tiempo de entrega, que corresponde al tiempo t gastado por el domicilio desde el momento en que llega al nodo i hasta que sale de éste.
5. tpc_i = $tp_i + tc_i$, es el momento t que el cliente espera su pedido.
6. S_e = Secuencia de entrada, que corresponde al orden en que se fueron generando los pedidos.
7. n = Número de pedidos
8. S_s = Secuencia de entrega, que corresponde al orden final de entrega de pedidos, la cual depende de N^T .
9. N^T = Total de pedidos tardíos.
10. p^T = Identificación de pedidos tardíos
11. $tpcr_i$ = Tiempo t en que llega el pedido al nodo i .
12. d_{ij} = Distancia entre nodos, (donde i es el nodo origen y j es el nodo destino). $i \neq j$.
13. v = Velocidad de circulación en la ciudad. ($V = 15$ km./hora)
14. m_t = Momento t de inicio de entrega de pedidos. ($m_t = 20$ minutos).

3. CONSTRUCCIÓN FUNCIÓN OBJETIVO

$tpcr_i$ = Tiempo t en que llega el pedido i al nodo p_i .
Siempre para

$$tpcr_1 = m_t + [d(\text{Origen}, p_1) / v]$$

$tpcr_1$ = Corresponde al tiempo que ha transcurrido desde que se hizo el primer pedido, hasta que el domicilio sale del punto de venta, más el tiempo gastado desde el punto de venta (origen), hasta el nodo que identifica la primera entrega.

Y para todos los i diferente de 1, (donde $i=2,3,\dots,n$), se procede como sigue:

$$tpcr_i = m_t + [d(\text{origen}, p_1) / v] + \sum_{k=2}^i [d(p_{k-1}, p_k) / v + te_{k-1}]$$

donde $i=2,3,4,\dots$

Para la segunda entrega, el $tpcr_2$ corresponde a la suma de $tpcr_1$, más el tiempo gastado desde el nodo donde se hizo la primera entrega, hasta el nodo siguiente, más el tiempo que transcurre en la entrega del pedido anterior. Para todas las i siguientes, se aplica la misma metodología, la cual se resume en la ecuación que aparece a continuación

$$tpcr_i = tpcr_1 + \sum_{k=2}^i [d(p_{k-1}, p_k) / v + te_{k-1}]$$

▪ Función Objetivo

La función objetivo a minimizar, es el número total de pedidos tardíos, la cual se representa matemáticamente como sigue:

$$\text{Min: } N^T = \sum_{i=1}^n U(tpcr_i - tpc_i)$$

$tpcr_i$ = Tiempo t en que llega el pedido i al nodo p_i

tpc_i = Es el momento t en que el cliente espera su pedido.

Donde:

$$U(tpcr_i - tpc_i) = 1.$$

Si $tpcr_i > tpc_i$ (pedido tardío)

$$U(tpcr_i - tpc_i) = 0.$$

Si $tpcr_i \leq tpc_i$ (pedido cumplido)

4. ANALOGÍA DEL ALGORITMO R

Este algoritmo toma algunos eventos y elementos que intervienen en un partido de fútbol (campo de juego, balón, jugadores). El campo de juego es el espacio de soluciones posibles, las posiciones del balón y de un grupo de jugadores son soluciones buenas y malas del problema.

Cuando se inicia el partido de fútbol la primera posición del balón se toma como primera solución del problema y se guarda como la mejor solución hasta el momento. Ahora las posiciones que tienen los jugadores que están cerca o lejos del balón, son también posibles soluciones candidatas del problema, las cuales se deben comparar con la mejor solución hasta el momento. Si alguna de ellas la supera, pasa temporalmente a ser la mejor hasta ahora. Seguidamente los jugadores tratan de apoderarse del balón, y para lograr este objetivo se tienen que desplazar (cambiar de posición). Estas nuevas posiciones son comparadas con la mejor solución calculada hasta el momento. En caso de ser superada, será reemplazada. Es posible que algunos de los jugadores tengan que realizar más movimientos para buscar el balón. El escenario anterior, se repite continuamente durante el partido, con la particularidad que el balón va ocupando nuevas posiciones en el campo de juego e inclusive se puede dar el evento que se repitan algunas. Y para cada una de estas nuevas posiciones del balón aparecen los mismos y/o nuevos jugadores.

Después de correr varios escenarios, se presenta como solución del problema la mejor explorada hasta ese momento. El número de iteraciones depende del número de posiciones del balón que el investigador define previamente. El tiempo entre iteraciones depende del número de jugadores y de las posiciones que éstos toman con respecto a la posición del balón.

En conclusión, el número de posiciones del balón y el número de jugadores depende del tiempo que tenga el investigador de esperar la respuesta.

5. PRESENTACIÓN FORMAL DEL ALGORITMO R

1. Definir el número de posiciones del balón y número de jugadores
2. Generar una solución inicial como primera posición del balón

3. Guardar esta secuencia como la mejor hasta el momento
4. Si el número de posiciones del balón no se han agotado hacer lo siguiente:
 - Generar los jugadores a partir de la posición del balón
 - Hacer que cada jugador se mueva hacía el balón y evaluar cada movimiento:
 - Sí el movimiento supera al mejor, hacer este como el mejor
 - Generar una nueva posición del balón a partir de la mejor secuencia y evaluar:
 - Sí la posición supera la mejor, hacer ésta como la mejor
 - Retornar al paso 4

6. MECANISMOS DE PERTURBACIÓN DEL

ALGORITMO R

Se utilizan dos mecanismos de perturbación: aleatorio y sistemático. Como se presentan a continuación:

- Generación de la nueva posición del balón: Para generar la nueva posición del balón se perturba la mejor solución que se lleva hasta el momento, seleccionando de manera aleatoria dos elementos de esta secuencia y se intercambia de posición.
- Generación de las nuevas posiciones de los jugadores: Se genera la nueva posición para cada jugador perturbando la posición del balón, seleccionando de manera aleatoria dos elementos de esta secuencia y se intercambia de posición.
- Movimiento de los jugadores: Cada movimiento de los jugadores se hace perturbando de manera sistemática un elemento a la vez de la secuencia que representa la posición actual, buscando calcar la secuencia de la posición del balón.

7. FUNCIONAMIENTO DEL ALGORITMO R

Para efectos de presentar la operatividad del algoritmo en el cuadro 1 aparece un problema de cuatro pedidos cuya resolución se hace exhaustivamente. En éste se presenta el procesamiento de cada una de las 24 posibles secuencias que resultan para la entrega de estos pedidos, evaluando la distancia total recorrida para la entrega del pedido identificada como tr.

Para la secuencia de entrega 1,2,3,4 (nodos que identifican la ubicación geográfica del pedido) el valor de 1441 metros, corresponde a la distancia que hay del nodo origen al nodo 1. Seguidamente la distancia de 1 a

2 es 110 m, de 2 a 3 es 110 m, de 3 a 4 es 110 m. La distancia (tr=1771) corresponde a la distancia total de la secuencia (origen_1),(1_2),(2_3),(3_4).

La distancia total de la secuencia 1, 2, 4, 3, resulta con el mismo criterio y procedimiento anterior, siendo su medida de desempeño igual a 2321 metros. Después de procesar las demás secuencias, se ve claramente en el Cuadro 1 que la de mejor desempeño es la conformada por los nodos 1, 2, 3, 4.

El Cuadro 1, servirá para comparar los resultados arrojados por el algoritmo. A continuación se mostrará la operatividad del método para el ejemplo citado.

Secuencias posibles (24)				tr
1	2	3	4	
1441	110	110	110	1771
1	2	4	3	.
1441	110	220	550	2321
1	3	2	4	.
1441	220	110	220	1991
1	3	4	2	.
1441	220	110	440	2211
1	4	2	3	.
1441	330	440	110	2321
1	4	3	2	.
1441	330	550	110	2431
2	1	3	4	.
1430	110	220	110	1870
2	1	4	3	.
1430	110	330	550	2420
2	3	4	1	.
1430	110	110	451	2101
2	3	1	4	.
1430	110	220	330	2090
2	4	3	1	.
1430	220	550	220	2420
2	4	1	3	.
1430	220	451	220	2321
3	1	4	2	.
1540	220	330	440	2530
3	1	2	4	.
1540	220	110	220	2090
3	2	4	1	.
1540	110	220	451	2321
3	2	1	4	.
1540	110	110	330	2090
3	4	2	1	.
1540	110	440	110	2200
3	4	1	2	.
1540	110	451	110	2211
4	1	3	2	.
1210	451	220	110	1991
4	1	2	3	.
1210	451	110	110	1881
4	2	3	1	.

1210	440	110	220	1980
<i>4</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	<i>3</i>	.
1210	440	110	220	1980
<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	.
1210	550	110	110	1980
<i>4</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	.
1210	550	220	110	2090

Tabla 1. Secuencias posibles para entregar pedidos en los nodos 1,2,3,4

8. OPERATIVIDAD DEL ALGORITMO R

- Generar una solución inicial para la posición del balón y evaluar la medida de desempeño para esta secuencia dada

Primera posición del balón

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	.
1210	550	220	110	2090

- Guardar esta solución como la mejor por ahora
- Generar una posición para un jugador a partir de la posición actual del balón y evaluar la medida de desempeño para esta secuencia dada

Posición inicial del jugador

<i>1</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	.
1441	330	440	110	2321

- Si la medida de desempeño de la primera posición del jugador es menor que la mejor actual, entonces esta reemplaza a la mejor, de lo contrario no hace nada. $Trmejor(2090) < trjugador(2321)$, verdadero, no hay reemplazo de secuencia.
- El jugador se mueve detrás del balón hasta que sea idéntico a la posición del balón

POSICIÓN DEL BALÓN

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	.
1210	550	220	110	2090

POSICIÓN INICIAL DEL JUGADOR

<i>1</i>	<i>4</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	.
1441	330	440	110	2321

Primer movimiento, cambiar el primer elemento de la secuencia del jugador buscando parecerse a la secuencia del balón, generando la siguiente secuencia.

Primer movimiento

<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	.
1210	451	110	110	1881

- Si la medida de desempeño de la primera posición del jugador es menor que la mejor actual, entonces esta reemplaza a la mejor, de lo contrario no hace

nada. $Trmejor(2090) < trjugador(1881)$, falso, hay reemplazo de secuencia.

- Hacer otro movimiento del jugador

Posición actual del balón

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	.
1210	550	220	110	2090

Posición actual del jugador

<i>4</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	.
1210	451	110	110	1881

Nueva posición del jugador

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	.
1210	550	110	110	1980

- Si la medida de desempeño de la segunda posición del jugador es menor que la mejor actual, entonces esta reemplaza a la mejor, de lo contrario no hace nada. $Trmejor(2090) < trjugador(1980)$, falso, hay reemplazo de secuencia.

- Hacer otro movimiento del jugador

Posición actual del balón

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	.
1210	550	220	110	2090

posición actual del jugador

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	.
1210	550	110	110	1980

Nueva posición del jugador

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	.
1210	550	220	110	2090

- Si la medida de desempeño de la tercera posición del jugador es menor que la mejor actual, entonces esta reemplaza a la mejor, de lo contrario no hace nada. $Trmejor(1980) < trjugador(2090)$, verdadero, no hay reemplazo de secuencia.

- Generar una nueva posición para el balón, entonces se toma la mejor secuencia y se le hace una perturbación.

- Generar dos números aleatorios, el primero indica qué elemento voy a mover y el segundo indica la nueva posición, aleatorio 1=1, aleatorio 2=4

Mejor solución hasta ahora

<i>4</i>	<i>3</i>	<i>2</i>	<i>1</i>	.
1210	550	110	110	1980

Nueva posición del balón

<i>2</i>	<i>3</i>	<i>1</i>	<i>4</i>	.
1430	110	220	330	2090

- Evaluar la nueva solución, si la medida de desempeño del balón es menor que la mejor actual, entonces esta reemplaza a la mejor, de lo contrario no hace nada. $Tr_{mejor}(1980) < tr_{jugador}(2090)$, verdadero, no hay reemplazo de secuencia
- Generar una nueva posición para el jugador, tomando la secuencia del balón y haciendo una perturbación.
- Generar dos números aleatorios, el primero indica que elemento se va a mover y el segundo indica la nueva posición, aleatorio 1=2, aleatorio 2=3

La última posición del balón

2	3	1	4	.
1430	110	220	330	2090

Nueva posición del jugador

2	1	3	4	.
1430	110	220	110	1870

- Evaluar la nueva solución, si la medida de desempeño del jugador es menor que la mejor actual, entonces esta reemplaza a la mejor, de lo contrario no hace nada. $Tr_{mejor}(1980) < tr_{jugador}(1870)$, falso, si hay reemplazo de secuencia
- El jugador se mueve de tras del balón hasta que sea idéntico a la posición del balón

Posición actual del balón

2	3	1	4	.
1430	110	220	330	2090

Posición actual del jugador

2	1	3	4	.
1430	110	220	110	1870

Nueva posición del jugador

2	3	1	4	.
1430	110	220	330	2090

- Si la medida de desempeño de la segunda posición del jugador es menor que la mejor actual, entonces esta reemplaza a la mejor, de lo contrario no hace nada. $Tr_{mejor}(1870) < tr_{jugador}(2090)$, verdadero, no hay reemplazo de secuencia
- Esto se repite hasta que se cumpla el parámetro de parada

9. VALIDACIÓN

Para realizar la validación, se elaboraron diferentes programas de computo y se tomó la información de la empresa SUPERPOLLO de Santa Rosa de Cabal(Rda) y se tuvo en cuenta lo siguiente:

- Velocidad promedio de circulación en la ciudad de Santa Rosa de Cabal =15km. /h

- Tiempo a partir del cual se inicia la entrega de pedidos = 20 minutos
- El tiempo t_i , corresponde al tiempo en el cual fue ordenado el pedido.
- Tiempo comprometido, es el tiempo de entrega que compromete el administrador al cliente.
- Tiempo de entrega definitivo, corresponde al tiempo t_i más el tiempo comprometido
- Tiempo por nodo, es el tiempo de entrega(t_{e_i}), que corresponde al tiempo t gastado por el domicilio desde el momento en que llega al nodo i hasta que sale de éste. Para determinar este tiempo, se tomaron 38 datos de campo, los cuales después de procesados se comportaron como una distribución normal. A partir de la media y la desviación estándar que arrojó la información de campo, y con la ayuda de la función estadística de Excel (distribución normal), se hallaron todos los valores utilizados de t_{e_i} en la validación.
- El Algoritmo R, arrancó con un parámetro de 100 posiciones del balón y un jugador, los resultados arrojados fueron pobres. Con parámetros de 500.000 posiciones de balón y cinco jugadores mejoró la respuesta.
- Las secuencias que se validaron, están compuestas entre 11 y 20 pedidos.

El cuadro 2, corresponde al resumen de treinta secuencias de lotes de pedidos, donde se hace una comparación del domicilio frente al algoritmo R. La columna secuencia identifica el número de la secuencia evaluada. En las columnas del domicilio y R aparece el número de pedidos entregados a tiempo.

SECUENCIA	DOMICILIO	R
1	1	3
2	1	2
3	1	3
4	1	3
5	1	4
6	3	4
7	4	4
8	4	5
9	4	7
10	4	4
11	3	4
12	2	3
13	2	3
14	1	4
15	2	4
16	3	5
17	1	2
18	3	4
19	3	4
20	2	4
21	2	4
22	1	3

23	2	4
24	2	3
25	3	4
26	3	4
27	2	4
28	2	4
29	2	4
30	2	4
TOTAL ÉXITOS	2/30	28/30

Tabla 2 Resumen validación

De las treinta secuencias realizadas, las diez primeras corresponden a lotes reales y las veinte siguientes son simulaciones. Se comparó el método del Domicilio con el algoritmo R. El algoritmo R, obtuvo 28 éxitos de las treinta secuencias, mientras el Domicilio, obtuvo 2 éxitos de las 30. Es necesario aclarar que el domicilio nunca superó a la heurística propuesta, los éxitos que aparecen del domicilio son dados por empates que se presentaron.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A pesar que el algoritmo R supera significativamente al método utilizado por el domicilio, presenta tiempos computacionales muy altos, superiores a 3 minutos, que es el límite establecido por la empresa.

Utilizar otro mecanismo de perturbación para la generación de posiciones del balón y de los jugadores en el algoritmo R, y comparar resultados.

Utilizar otro mecanismo de aproximación del jugador al balón en el algoritmo R, y comparar resultados.

Probar el algoritmo R en otros problemas secuenciales.

Modelar matemáticamente el algoritmo R.

Incluir otras características del partido de fútbol que ayuden a mejor la respuesta arrojada por el algoritmo Restrepo.

11. BIBLIOGRAFÍA

[1] Congreso de Producción. Universidad Autónoma de Occidente. Cali Colombia. Agosto 2002.

[2] DÍAZ, Adenso, GLOVER, Fred, GHARZIRI, Hassan, GONZALEZ, J, LAGUNA, Manuel, MOSCATO, Pablo. Optimización Heurística y Redes Neuronales. Editorial Parafino. 1996.

[3] GLOVER, Fred, LAGUNA, Manuel. Tabú Search. Universidad de Colorado. Julio de 1997

[4] GLOVER, Fred. Optimización Heurística y Redes Neuronales. ED. Paraninfo. 1996. Pág. 37

[5] HOYOS, Mario. Notas sobre Programación Secuencial. Maestría Investigación Operativa y Estadística. UTP. Junio 30/02.

[6] IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part B: Cybernetics. Vol. 32. N°5P. 686-691.

[7] IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Vol. 25, n° 7. Julio de 1995. 1102-1109.

[8] INTERNACIONAL JOURNAL OF SYSTEMS AUTOMATION: Research and Applications. Vol. 2 n°3. 1992. P. 227- 243.

[9] MORALES, Eduardo. Planificación, Búsqueda y Aprendizaje por Refuerzo. <http://w3.mor.itesm.mx/~emorales/Cursos/Optimiza/principal.html>

[10] PEHA, Jon M. Heterogeneous-Criteria Scheduling: Minimizing weighted number of tardy Jobs and weighted completion time. [En línea]. 7 nov, 2003.

[11] RESTREPO, Jorge Hernán, SÁNCHEZ, John Jairo. Solución al problema de entrega de pedidos con técnicas heurísticas. Tesis Maestría. Universidad Tecnológica de Pereira 2003.

[12] RESTREPO, Jorge Hernán, y otros. "Solución al problema de entrega de pedidos utilizando Recocido Simulado", Revista N° 24 de Scientia et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira

[13] SMITH, David. Network Optimization Practice. John Wiley & Sons. 1982. Pág. 55.

[14] TORANZOS, Fausto. Introducción a la Teoría de Grafos. OEA. 1976.