

# Inteligencia Artificial

## Informe Final: Problema “Milk Collection Problem with Blending”

Orlando Contreras R.

August 19, 2018

### Evaluación

Mejoras 1ra Entrega (10 %):	_____
Código Fuente (10 %):	_____
Representación (15 %):	_____
Descripción del algoritmo (20 %):	_____
Experimentos (10 %):	_____
Resultados (10 %):	_____
Conclusiones (20 %):	_____
Bibliografía (5 %):	_____
<b>Nota Final (100):</b>	_____

### Abstract

El problema Milk Collection with Blending hace alusión a la situación en la que un comprador de leche debe recolectar leche de un conjunto de granjas ubicadas en distintas posiciones geográficas, además la leche puede pertenecer a una categoría aludiendo a su calidad, por lo cual se puede mezclar leche de distintas calidades aumentando las ganancias relacionada al transporte. A continuación se enumeran algunas técnicas con las cuales se ha resuelto el problema descrito, presentando una visión actualizada del estado del problema, el objetivo de este documento es presentar las técnicas con las cuales se ha resuelto el problema y mostrar los elementos característicos del modelo matemático de optimización combinatoria. Además en este informe se muestra una propuesta de solución al problema mediante la técnica de Forward Checking con heurísticas de ordenamiento, junto con la explicación del algoritmo utilizado y los resultados obtenidos en cada experimento.

## 1 Introducción

En el siguiente informe se detallan algunas técnicas con las cuales se ha resuelto el problema Milk Collection with Blending formulando un estado del arte para el tema ya mencionado, de esta forma en primera instancia se define el problema, para luego presentar el estado del arte, donde se enumeran las técnicas de acuerdo a las cuales es resuelto el problema actualmente. Dentro de estas técnicas es posible enumerar k-means, para una parte del problema como también Branch and Cut. Posterior a esto se presenta el modelo matemático que describe la problemática, además se muestra la representación propuesta para la técnica de Forward Checking, con una descripción explicativa del algoritmo implementado, además de los correspondientes experimentos y resultados, terminando con lo que fue posible concluir de la investigación correspondiente. El propósito del documento es entregar una visión actualizada de las diferentes formas de la problemática, las cuales vienen dadas de un proceso de investigación y de lectura principalmente de

la literatura asociada al problema junto con entregar una propuesta de solución basada en la técnica Forward Checking. El problema como tal, hace alusión a como un comprador de leche debe decidir la ruta por la cual acudir a un número determinado de granjas productoras de leche, evaluando variables como la calidad de la leche que se lleva en los camiones y la posibilidad de mezclar leche con distinta calidad, barajando costos y ganancias de cada una de estas posibilidades. Finalmente la motivación de este estudio de investigación es comprender el estado del arte del problema, identificando soluciones que resultan ser mejores en relación a otras desde la literatura actual y proponer una técnica de resolución para el problema de forma fundamentada en sus experimentos y resultados.

## 2 Definición del Problema

Se sabe que el costo de la recolección de leche tiene un alto grado de importancia en la cadena de valor de esta industria. Mas aún, es un desafío importante, ya que actualmente los productores de leche suelen reunirse en grupos colaborativos, con lo que obtienen mayor beneficio en cuanto a las ventas de leche. Sin embargo, esto resulta en un problema importante en cuanto a la recolección por parte de los compradores, debido a la distribución geográfica de los productores, los cuales para ciertos casos pueden estar ubicados muy lejos de otros.

Algunos de los problemas presentes en el desafío para el comprador de leche son:

- Las granjas pueden quedar distribuidas a distancias muy lejanas, eventualmente en zonas rurales, lejos de otras granjas.
- Existen diferencias en la calidad de la leche dado un productor en particular.
- Dada calidades de leche diferentes, existen diversas alternativas frente a la posibilidad de mezclar la leche, ya sea mezclándolas en los camiones en en las plantas.
- Ante la mezcla de dos tipos de leche, la calidad de la leche resultante está definida por condiciones del problema en particular.

Resulta importante mencionar que el proceso de mezclar leche es una práctica legal que se realiza en diversas plantas a lo largo del mundo, Esta técnica se aplica también a la distribución de otros productos en distintas industrias. Para el caso particular de la industria de la leche, se tiene que la calidad de la leche mezclada es igual a la peor calidad de las leches individuales involucradas en la mezcla.

Según la literatura, el problema es usualmente visto desde el punto de vista de un VRP, por lo que existen diversos acercamientos y alternativas para la resolución de problemas similares a lo largo del mundo. Uno de estos casos es una variante, que resulta en un MPVRP, el cual logra reducir costos incorporando diferentes productos en un mismo vehículo [3]. Otros estudios resuelven el MPVRP con compartimientos para líquidos, impidiendo que el producto se mezcle en el mismo compartimiento [1]. Además se han logrado acercamientos aplicados a otros dominios, como lo es la recolección de sangre en donaciones [2] o la recolección de desechos[4].

En resumen y de forma concreta, el problema contiene granjas, las cuales proveen tres tipos de leche, refiriéndose a su calidad, las cuotas de cada calidad de leche deben ser satisfechas según los criterios mínimos de la planta. Las rutas que toman los camiones parten y terminan en la planta, de forma que la mezcla de leche puede efectuarse en cualquier parte del recorrido y finalmente, la mezcla de leche se rige bajo el criterio que otorga la peor calidad de las leches individuales a la mezcla resultante.

El objetivo del problema es encontrar una ruta para cada camión que optimice la ganancia obtenida mediante la recolección de la leche, minimizando a la vez el costo que define el largo de las rutas, cumpliendo con criterios mínimos de cumplimiento en cuanto a la cantidad de leche de cada tipo que se devuelve a la planta.

### 3 Estado del Arte

Actualmente en el ambito de este problema, existen dos estudios de casos similares, uno es "Milk Collection Problem with Blending" [7] y por otra parte existe "The Milk Collection Problem with Blending and Collection Points" [6]. En el informe actual se limita el foco de investigación al primer trabajo de estos autores, considerando la segunda publicación mencionada como un trabajo que nace del problema original.

Actualmente el problema "Milk Collection Problem with Blending" recolecta características de problemas similares que se han resuelto en el tiempo, para proponer un problema nuevo, donde el estado de los camiones de carga cambia a lo largo del recorrido, dada la posibilidad de mezclar leche. Actualmente el problema se resuelve mediante una heurística de tres pasos:

- Paso 1: Se separa la instancia en clusters, los cuales pueden ser identificados mediante características naturales como montañas o rios, o también mediante métodos tradicionales de clustering como k-means.
- Paso 2: Una cantidad mínima de leche debe ser entregada a cada planta, por otra parte, existen una cantidad definida de camiones con diferentes capacidades. Cada uno de estos aspectos, como la cuota de la planta y la capacidad de los camiones deben ser satisfechos en cada uno de los clusters. En una segunda etapa se define un modelo de programación entera mixta que satisface correctamente los requerimientos.
- Paso 3:  
Finalmente se encuentra una solución óptima para cada cluster mediante el método de "Branch and Cut".

Se presenta a continuación el resumen de resultados aplicado a un caso real de una región particionada en 25 clusters:

	MB	VRP	Current Procedure
Trucks	81	99	100
Revenue	23,266	24,273	22,804
Costs	10,093	12,319	18,659
Profit	13,173	11,954	4,145
Milk A	1,278,815	1,435,168	1,051,791
Milk B	306,060	268,564	621,043
Milk C	192,332	74,475	99,373
A to B	0	31,436	-
A to C	0	25,525	-
B to C	0	-	627
CPU Time [s]	6,241	0,87	-

Table 1: Resultados para un caso real de una región particionada en 25 clusters, donde A, B y C son calidades de leche

También se puede encontrar una comparativa entre los metodos de clusterización:

Nº de Areas	25(geográficas)	25(k-means)
Trucks	81	88
Revenue	23,266	23,652
Costs	10,093	10,776
Profit	13,173	12,876
Milk A	1,278,815	1,315,653
Milk B	306,060	315,702
Milk C	192,332	146,852
A to B	0	0
A to C	0	0
B to C	0	0
CPU Time [s]	6,241	18,491

Table 2: Resultados para diferentes particiones

Finalmente también se muestran resultados para un aumento de la cuota de leche de calidad A:

Leche A	1,200,000	1,300,000
Trucks	77	84
Revenue	21,904	23,572
Costs	9,946	10,794
Profit	13,348	12,778
Milk A	1,235,361	1,397,757
Milk B	217,204	213,699
Milk C	3255,642	166,571
A to B	82,796	86,301
A to C	0	0
B to C	0	0
CPU Time[s]	24,537	35,267

Table 3: Resultados para pruebas con diferentes cuotas

Para estos resultados, es posible tener una noción de la diferencia existente entre el desarrollo de clusters mediante zonas geográficas versus aquellos generados por k-means. Existe una diferencia sustancial en el tiempo de ejecución, puesto que resulta tres veces mas lento k-means, entregando también rutas con mayor costo y menor beneficio.

Finalmente en la tabla 3 se puede ver como responde el algoritmo con respecto al aumento en las cuotas de leche, para este caso, el aumento en la cuota de leche de calidad A, donde se incrementó sustancialmente el tiempo de ejecución.

Por otra parte, es necesario mencionar que el problema en estudio no ha sido estudiado a cabalidad en cuanto a las técnicas de resolución que se pueden utilizar, esto dado a lo reciente del estudio de este, sin embargo existen otros problemas que si bien, no cumplen con las mismas características, resultan ser problemas similares que si han ahondado en la proposición de técnicas para su resolución. Uno de estos problemas, que resulta interesante mencionar es “An algorithm for the vehicle-dispatching problem” [5], el cual propone como solución un acercamiento mediante “Branch and bound”, otro mediante lo que el llama “savings” y finalmente mediante “Tours óptimos”, siendo “Tours optimos” el cual entrega mejores resultados.

## 4 Modelo Matemático

Para el modelo matemático se posicionan las granjas productoras en un grafo conectado por arcos  $(i, j)$ .

Para el problema, se considera  $Q^k$  como la capacidad de el camión  $k$ ;  $q_i^t$  es la cantidad de leche  $t$  producida por la granja  $i$ ;  $c_{ij}^k$  es el costo del viaje de un camión  $k$  sobre el arco  $(i, j)$  del grafo;  $\alpha^t$  es la ganancia por unidad de leche de calidad  $t$ ; y  $P^t$  es la cuota de leche de calidad  $t$  en la planta.

Se propone el siguiente modelo matemático entero mixto

### Variables

$$\begin{aligned} x_{ij}^k &= \begin{cases} 1 & \text{si el camion } k \text{ viaja directamente desde el nodo } i \text{ al nodo } j \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \\ y_i^{kt} &= \begin{cases} 1 & \text{si el camion } k \text{ carga leche de calidad } t \text{ desde la granja } i \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \\ z^{kt} &= \begin{cases} 1 & \text{si el camion } k \text{ entrega leche de calidad } t \text{ a la planta} \\ 0 & \text{si no} \end{cases} \\ w^{kt} &= \text{Volumen de leche de calidad } t \text{ que el camión } k \text{ entrega a la planta} \\ v^{tr} &= \text{Volumen de leche de calidad } t \text{ entregada a la planta, mezclada como leche de calidad } r \end{aligned}$$

### Función objetivo

$$\sum_{t \in T} \sum_{r \in T} \alpha^r v^{tr} - \sum_{(i,j,k) \in AK} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

### Sujeto a:

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in N} q_i^t y_i^{kt} \leq Q^k \quad \forall k \in K \quad (2)$$

Limita la capacidad de los camiones.

$$\sum_{k \in K} y_i^{kt} = 1 \quad \forall i \in N, t \in T : (i, t) \in IT \quad (3)$$

Exige que la recolección de leche de cada granja sea realizada por solo un camión.

$$\sum_{j \in AK} x_{0kj}^k \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

Relaciona cada camión con a lo más una ruta.

$$\sum_{i \in AK} x_{ij}^k = \sum_{h \in AK} x_{jh}^k \quad \forall k \in K, j \in N_0 \quad (5)$$

Balancea el flujo para cada nodo y para cada camión.

$$\sum_{p \in AK} x_{pi}^k = y_i^{kt} \quad \forall k \in K, i \in N, t \in T \quad (6)$$

La ruta de cada camion  $k$  termina en el nodo  $i$  si es que este recolecta leche desde ese nodo.

$$z^{kt} \leq 1 - \sum_{r \in D^t} y_i^{kr} \quad \forall k \in K, i \in N, t \in T \quad (7)$$

Evita que el camion cargue leche de calidad inferior a  $t$  si es que este deja leche de calidad  $t$  en la planta.

$$\sum_{t \in T} z^{kt} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (8)$$

Hace que un camion tenga solo un tipo de leche  $t$  posiblemente mezclada.

$$w^{kt} \leq z^{kt} Q^k \quad \forall k \in K, t \in T \quad (9)$$

Relaciona las variables continuas  $w^{kt}$ , o el volumen de leche  $t$  con la asignación de leche de calidad  $t$  al camión  $k$ .

$$w^{kt} \leq \sum_{r: t \in D^r} \sum_{h \in N^r} q_h^r y_h^{kr} \quad \forall k \in K, t \in T \quad (10)$$

Contiene el volumen de leche que llega a la planta en un camión  $k$ .

$$\sum_{k \in K} \sum_{t \in T} w^{kt} = \sum_{(i,t) \in IT} q_i^t \quad (11)$$

Fuerza a que toda la leche producida llegue a la planta.

$$\sum_{r \in D^t} v^{tr} = \sum_{k \in K} w^{kt} \quad \forall t \in T \quad (12)$$

Balancea la cantidad de cada tipo de leche que llega a la planta.

$$\sum_{t \in T} v^{tr} \geq P^r \quad \forall r \in D^t \quad (13)$$

Refuerza la cuota de la planta.

$$y_i^{kt} + y_i^{kr} \leq 1 \quad \forall (t, r) \in PM; (i, t), (j, t) \in IT \quad (14)$$

Evita las mezclas prohibidas por el problema.

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij}^k \leq S - 1 \quad \forall S \subseteq N, k \in K \quad (15)$$

Previene sub-rutas para cada camión.

$$y_i^{kt}, z^{kt} \in 0, 1 \quad \forall i \in N, k \in K, t \in T \quad (16)$$

$$x_{ij}^k \in 0, 1 \quad \forall (i, j, k) \in AK \quad (17)$$

$$W^{kt}, v^{tr} \geq 0 \quad \forall k \in K; t, r \in T, r \in D^t \quad (18)$$

Presentan los dominios de las variables.

## 5 Representación

La técnica bajo la cual se buscó una solución a este problema fue Forward Checking para lo cual fue necesario definir algunos elementos esenciales para la implementación de algoritmo. Entre estos, se definió un vector de largo igual al número total de nodos, representando a cada una de las granjas.

$$D_n = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (19)$$

El cual representa el dominio de una variable correspondiente al camión, o en otras palabras, los nodos para los cuales es posible que el camión se dirija en una siguiente instanciación. Los valores del vector pueden ser 0 o 1, de acuerdo si está disponible para instanciar o no.

$$X_i = \begin{cases} 0 & \text{if } x = \text{disponible para instanciar} \\ 1 & \text{if } x = \text{instanciado o no disponible} \end{cases} \quad (20)$$

Además de esto, se definió una matriz, la cual contiene los movimientos desde y hacia que nodo se mueve cada camión. Para eso se representa a cada camión con un número entero partiendo desde 0.

$$C_n = x, x \in \{0, 1, \dots, n\} \quad (21)$$

De esta forma la matriz quedó representada como:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (22)$$

Donde un valor por columna puede tomar el número correspondiente a cada camión, por ejemplo:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (23)$$

Se interpreta que el camión número 2 viajó desde el nodo 1 al nodo 3, haciendo referencia al “desde” en las filas y al “hasta” en las columnas.

Además, se definió una matriz de parámetros, la cual contiene los datos numéricos correspondientes a las coordenadas de cada nodo y la cantidad de leche que cada granja tiene que proporcionar al camión, junto con el tipo de leche correspondiente:

$$P_{ij} = \begin{bmatrix} id_1 & x_1 & y_1 & t_1 & g_1 \\ id_2 & x_2 & y_2 & t_2 & g_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ id_n & x_n & y_n & t_n & g_n \end{bmatrix} \quad (24)$$

## 6 Descripción del algoritmo

En una primera instancia, se recibe un archivo de entrada con los parámetros asociados al problema, estos tienen que ver con la capacidad de cada camión, la cantidad de camiones y tipos de leche, la cuota de cada leche y la información respectiva a las granjas, esto contiene sus coordenadas y la cantidad y tipo de leche que proporcionan al camión correspondiente, finalmente se llama a una función para obtener la ruta, la que ejecuta el grueso del algoritmo.

Posteriormente dada la cantidad de nodos, se inicializa una matriz de movimientos en 0 para todos sus campos y el vector de dominio también inicializado en 0.

Procedimiento para inicializar Matriz:

```
begin
  for  $i := 1$  to  $nodos$  do
    for  $j := 1$  to  $nodos$  do
      Setearvalor
    end
  end
end
```

Procedimiento para inicializar Vector:

```
begin
  for  $i := 1$  to  $nodos$  do
    Setearvalor
  end
end
```

Dado esto se comienza a iterar para cada camión, ejecutando una función que revisa el dominio actual, obteniendo los posibles nodos a los cuales se pudiera dirigir el camión que se desea instanciar, teniendo la los camiones a los cuales es posible moverse en el vector de dominio, se ordenan los nodos de acuerdo a la distancia con el nodo actual. Teniendo ordenados los nodos, se escoge el nodo mas cercano como el proximo hacia el cual dirigirse.

Procedimiento para obtener nodo por camion:

```
begin
  for  $i := 1$  to  $trucks$  do
    obtenerNodo
  end
end
```

Procedimiento para seleccionar nodo de retorno:

```
begin
   $MIN = 99999$ 
   $NODOMIN = 0$ 
  for  $i := 1$  to  $nodos$  do
    if  $distancia(nodoActual, dominio[i]) < MIN$  :
       $MIN = distancia$ 
       $NODOMIN = dominio[i]$ 
    end
  end
  RetornarNODOMIN
end
```

Para este caso la función distancia es una función que calcula la distancia euclidiana entre cada nodo que se le es entregado como parametro.

Habiendo escogido e instanciado el siguiente nodo, se procede a actualizar el vector de dominio, verificando las restricciones y situando como ocupados los nodos que no cumplan con los criterios definidos. Estos criterios tienen que ver con el tipo de leche y la capacidad del camión, por ejemplo, si es que el proximo nodo tiene mas leche que la capacidad que le queda al camión, el nodo se marca como ocupado, para que el camión no pueda moverse a el, este es el paso correspondiente al “Forward Check”.



Procedimiento Forward Check:

```

begin
  for  $i := 1$  to  $dominio$  do
    if  $cuotaLeche(dominio[i]) > CapacidadCamionORtipoLeche(dominio[i]) \neq TipoLecheCamion$  :
       $dominio[i] = 1$ 
    end
  Retornardominio
end

```

Se checkean como visitados los nodos que no debiesen ser instanciados por un camión por concepto de restricciones.

Además, luego de cada instanciación se procede a actualizar la capacidad actual del camión y se grafica en la matriz de movimientos como fila el id del nodo actual y columna el nodo próximo a instanciar.

Procedimiento instanciar:

```

begin
   $CapacidadCamion = CapacidadCamion - lecheInstancia$ 
   $MatrizRuta[NodoPrevio][NodoIntanciar] = CamionActual$ 
end

```

Una vez que un camión no tiene mas posibilidades con respecto a el nodo a instanciar, se procede a resetear el vector de dominio, marcando como disponibles los nodos que no pertenecieron a la ruta del camión anterior. Con esto se comienza a instanciar para el siguiente camión considerando los nodos disponibles y un tipo de leche diferente.

Procedimiento cambio de camion:

```

begin
  if  $dominio = vacio$ 
     $CamionActual = SiguienteCamion$ 
     $Reset(dominio)$ 
     $ObtenerNodo(CamionActual)$ 
  end

```

La función “Reset(dominio)” sitúan en 0 las posiciones en el vector dominio que no pertenezcan a la ruta especificada actualmente en la matriz de camino, es decir que no estén instanciadas por ningún camión, disponibilizando nodos para los otros camiones.

Ya finalizados los camiones disponibles, se tiene una matriz que grafica los caminos que siguió cada camión. Esta matriz se recorre obteniendo los datos desde la matriz de parámetros, para así calcular las distancias totales, costos, beneficios y rutas que son expuestas en el archivo de salida.

```

begin
  Procedimiento de retorno:
  for  $i := 1$  to  $nodos$  do
    for  $j := 1$  to  $nodos$  do
       $find(MatrizRutas[i][j])inParametros$ 
       $Setearformatodesalida$ 
    end
  end
  retornardatos
end

```

Cabe destacar que el algoritmo explicado ejecuta un paso para obtener el nodo a instanciar, basado en encontrar la mínima distancia euclidiana entre el nodo actual y el candidato, esto corresponde a la heurística desarrollada, puesto que el algoritmo también puede prescindir de esta regla y devolver los nodos en el orden que vienen dados en el archivo de entrada. Esto se hace mediante un comando definido especialmente para esto.

Por otra parte, el algoritmo para obtener la ruta de los camiones se ejecuta para cada combinación posible de orden de los camiones disponibles.

## 7 Experimentos

Para la experimentación se usaron instancias con diversas características, las cuales contuvieron toda la información necesaria por el algoritmo. Estas instancias cuentan con un número definido de nodos y sus coordenadas, además de los valores de cada tipo de leche. Para la experimentación se consideró como beneficio el valor de la leche por la cantidad de leche entregada a la planta, correspondiendo a cada tipo. Como costo se consideró la distancia euclidiana entre cada nodo. Para los distintos experimentos no se utilizó cluster de ninguna característica con el fin de agrupar los nodos, sino que fueron entregados como un espacio de búsqueda completo de acuerdo al dominio que se le otorgaba a cada camión, en un momento dado. Espacio de búsqueda que se ve influenciado por el comportamiento de cada camión instanciado previamente.

De acuerdo a las instancias entregadas se definió un parámetro para ejecutar la asignación de nodos con heurística y sin heurística. Este parámetro tiene influencia en la forma en que se escogen los nodos candidatos a instanciar en cada iteración. La asignación sin heurística al momento de elegir el siguiente nodo a instanciar para cada camión, escoge el siguiente nodo que corresponde según el orden que viene dado en la instancia, a diferencia de la ejecución con heurística que al momento de elegir el siguiente nodo candidato a instanciar, ordena los nodos según sus distancias euclidianas y escoge el nodo más cercano según este orden.

Por otra parte, para analizar el comportamiento de cada camión según sus capacidades, que son la única característica que los diferencia, la solución propuesta escoge los camiones desde la instancia y hace la combinación en cuanto al orden, generando todos los órdenes posibles para la instanciación de los camiones. Además, se debe mencionar que los tipos de leche a recolectar por cada camión son asignados según su orden de entrada, por lo que se ejecutó el algoritmo para cada combinación de leche con cada camión.

El análisis posterior viene dado de la matriz de movimientos, este artefacto se definió con el fin de tener una representación para controlar el estado del algoritmo en cada iteración y así posteriormente ver su estado final para la entrega de métricas y resultados.

## 8 Resultados

En una primera instancia, se ejecutó el algoritmo para una instancia reducida en nodos, donde todos los camiones son capaces de suplir completamente la cuota de leche de cualquier tipo, obteniendo los siguientes resultados.

Ruta	Costo viaje	Cantidad leche
0 - 1 - 4 - 7 - 10 - 13 - 16 - 19 - 0	350	9800 A
0 - 2 - 5 - 8 - 11 - 14 - 17 - 20 - 0	337	7200 B
0 - 3 - 6 - 9 - 12 - 15 - 18 - 21 - 0	320	5500 C

Table 4: Resultados para instancia 22 nodos sin heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2

Ganancia total	Costo Total	Ganancia total por leche
15273	1007	16280

Table 5: Ganancia y costo para instancia 22 nodos sin heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2

Posteriormente para la misma instancia pero con distinto orden en cuando a la instanciación de los camiones se obtuvieron los siguientes resultados.

Ruta	Costo viaje	Cantidad leche
0 - 1 - 4 - 7 - 10 - 13 - 16 - 19 - 0	350	9800 A
0 - 2 - 5 - 8 - 11 - 14 - 17 - 20 - 0	337	7200 B
0 - 3 - 6 - 9 - 12 - 15 - 18 - 21 - 0	320	5500 C

Table 6: Resultados para instancia 22 nodos sin heurística, orden de camiones: 0 - 2 - 1

Ganancia total	Costo Total	Ganancia total por leche
15273	1007	16280

Table 7: Ganancia y costo para instancia 22 nodos sin heurística, orden de camiones: 0 - 2 - 1

Se menciona que para la misma instancia, tomando distinto orden para los camiones, no existe diferencia en cuanto a la instanciación, con el fin de no publicar tablas en exceso, se da a conocer que para todos los ordenes de camiones el resultado es el mismo, esto cambia cuando hay camiones que no pueden suplir completamente la cuota de algún tipo de leche, como en el siguiente ejemplo, situando un camión con muy baja capacidad.

Ruta	Costo viaje	Cantidad leche
0 - 13 - 0	236	1300 A
0 - 17 - 20 - 14 - 11 - 5 - 8 - 2 - 0	443	7200 B
0 - 6 - 9 - 3 - 12 - 15 - 18 - 21 - 0	320	5500 C

Table 8: Resultados para instancia 22 nodos con heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2 Y camión 1 reducido en capacidad

Ganancia total	Costo Total	Ganancia total por leche
14191	1039	15230

Table 9: Ganancia y costo para instancia 22 nodos con heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2 Y camión 1 reducido en capacidad

En este caso se vé como el camión 1 determina la cantidad de leche resultante según su capacidad limitada y hay efectos en el cambio de algunos nodos en rutas de los otros camiones, puesto que existen mas nodos disponibles que no acaparó el camión de capacidad reducida.

Luego se probó el algoritmo para instancias grandes, en este caso se muestran los resultados para una instancia con 76 nodos.

Ruta	Costo viaje	Cantidad leche
0-1-4-7-10-13-16-19-22-...-49-52-55-58-61-64-70-73-0	825	43800 A
0-2-5-8-11-14-17-20-41-...-50-53-56-59-62-65 -68-71-74-0	1015	46700 B
0-3-6-9-12-15-18-21-24-27-...-48-51-54-57-60-63-66-69-72-75-0	983	42900 C

Table 10: Resultados para instancia 76 nodos sin heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2

Ganancia total	Costo Total	Ganancia total por leche
87827	2823	90650

Table 11: Ganancia y costo para instancia 22 nodos sin heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2

Donde se aprecia una diferencia en las rutas dependiendo el orden en el cual se instancian los camiones.

Ruta	Costo viaje	Cantidad leche
0-1-4-7-10-13-16-19-22-...-55-58-61-64-67-70-73-0	909	46800 A
0-2-5-8-11-14-17-20-23-...-53-56-59-62-65-71-0	928	44700 B
0-3-6-9-12-15-18-21 - ... - 57-60-63-66-69-72-75-0	983	42900 C

Table 12: Resultados para instancia 76 nodos sin heurística, orden de camiones: 1 - 0 - 2

Ganancia total	Costo Total	Ganancia total por leche
85340	2820	88160

Table 13: Ganancia y costo para instancia 76 nodos sin heurística, orden de camiones: 1 - 0 - 2

En una instancia grande como la indicada previamente, la diferencia de la ganancia total alcanza a ser de 2000 unidades.

Finalmente, también es interesante ver que ocurre con instancias grandes aplicando la heurística, para esto se obtuvieron los siguientes resultados.

Ruta	Costo viaje	Cantidad leche
0 - 7 - 1 - 34 - 28 - 22 - ... - 49 - 25 - 10 - 67 - 37 - 0	756	44200 A
0 - 71 - 38 - 11 - 8 - 47 - ... - 41 - 65 - 32 - 26 - 17 - 50 - 56 - 0	629	46700 B
0 - 24 - 45 - 30 - 75 - ... - 36 - 48 - 21 - 42 - 54 - 15 - 60 - 0	692	42900 C

Table 14: Resultados para instancia 76 nodos con heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2

Ganancia total	Costo Total	Ganancia total por leche
89053	2077	91130

Table 15: Ganancia y costo para instancia 76 nodos con heurística, orden de camiones: 0 - 1 - 2

Además se aprecia un cambio en los beneficios y costos aplicando distinta asignación de tipo de leche a los camiones.

Ruta	Costo viaje	Cantidad leche
0 - 7 - 1 - 34 - 28 - ... - 16 - 4 - 49 - 25 - 10 - 67 - 37 - 61 - 70 - 0	782	46800 A
0 - 38 - 11 - 8 - 47 - ... - 35 - 53 - 59 - 32 - 26 - 50 - 56 - 65 - 0	647	46800 B
0 - 39 - 33 - 63 - 24 - ... - 21 - 36 - 15 - 54 - 60 - 12 - 66 - 0	656	42900 C

Table 16: Resultados para instancia 76 nodos con heurística, orden de camiones: 2 - 1 - 0

Ganancia total	Costo Total	Ganancia total por leche
89675	2085	91760

Table 17: Ganancia y costo para instancia 76 nodos con heurística, orden de camiones: 2 - 1 - 0

En este caso existe una diferencia sustancial de 600 unidades.

## 9 Conclusiones

De acuerdo al estudio realizado, en primera instancia, refiriéndose a la problemática antes que la propuesta a solución, es posible indicar que de forma particular, refiriéndose al problema de la recolección de leche, es un tema relativamente nuevo. La investigación que da fundamento a este estudio fue publicada apenas el año 2016, con lo que las técnicas conocidas para resolver el problema en este contexto son pocas, sin embargo, el problema de la recolección de leche forma parte de categorías mas grandes, conocidas como VRP. En este sentido existe una gran ventaja, ya que a lo largo del tiempo, la inteligencia artificial se ha hecho cargo de resolver y proponer técnicas para resolver esta categoría de problemas. Algunos de estos ya fueron mencionados en este estudio, refiriéndose a la recolección de residuos o sangre, estudios que fueron adjuntos en las referencias.

Con respecto a la propuesta de solución, el algoritmo entregó soluciones para los casos propuestos y reaccionó bien a las combinaciones posibles que le fueron proporcionadas en la etapa de experimentación, dado esto fue posible concluir que para la técnica propuesta, las diferencias entre costos y beneficios son mas evidentes en instancias con gran número de nodos, en contraparte a las instancias que tienen pocos nodos. Es decir, si la instancia a la cual se le aplica la técnica desarrollada tiene pocos nodos, es mas difícil ver alguna diferencia en los resultados para variaciones de camiones a instanciar y heurísticas a aplicar. Esto se notó claramente en la instancia de 22 nodos, donde el orden de los camiones a instanciar fue practicamente irrelevante, sin embargo para las instancias con mayor numero de nodos, un distinto orden en la consideración de los camiones arrojó diferencias en las soluciones propuestas por el algoritmo.

Por otra parte, las diferencias que se encontraron son propias del camio de orden de los parámetros del algoritmo, no tienen que ver con elementos correspondientes a la ejecución, puesto que la técnica utilizada fue determinística, no estocástica. Ejecutando el algoritmo repetidas veces bajo los mismo parámetros, entrega las mismas soluciones.

Además, es posible concluir que la utilización de metaheurísticas resulta indispensable para la obtención de mejores resultados, o resultados que se correspondan de mejor manera a la situación real. Por ejemplo, si la heurística corresponde a elegir los nodos a instanciar, dentro de una lista de candidatos, en el orden que vienen dados desde los parámetros de la instancia, es evidente que estos quedarán ordenados de menor a mayor según su posición en la instancia de entrada, gráficamente la propuesta para una ruta final, por otra parte, si se considera la menor

distancia luego de ordenar los nodos, las rutas muestran un comportamiento diferente. Esto se evidencia claramente en la comparación de resultados con herística y sin heurística que se enumeraron en la sección de resultados.

Por otra parte, con el estudio realizado se abre un amplio abanico de propuestas que nacen de la base de la flexibilización de ciertas características del algoritmo, por ejemplo, que resultados se esperarían si se pudiese prescindir de un camión. Por ejemplo, dado las reglas de la industria estudiada, en ciertos casos puede resultar mas costoso usar un camión extra en donde la recolección puede ser hecha por una cantidad menor de camiones. Reflexiones como esta queda como hipótesis a trabajos futuros, desde la idea de adaptár algoritmos a las necesidades de la industria, flexibilizando criterios.

Para estudios futuros respecto a esta problemática, se abre una amplia gama de posibilidades en cuanto a la edición o incorporacion de nuevas técnicas o metaheurísticas al algoritmo. Por ejemplo, el algoritmo presenta un paso clave que es la selección de el próximo nodo a escoger, si bien en este estudio existen dos posibilidades, el instanciar respecto al orden en el cual se encuentran los nodos en el archivo de entrada u ordenar con respecto a la distancia euclidiana eligiendo la menor, estas técnicas resultan ser algo sesgadas con respecto al comportamiento global del algoritmo, puesto que cada camión debe volver a la planta desde donde partió, si se escoge el nodo mas cercano para realizar la instancia, se está imitando de cierta forma la función miope de un algoritmo Greedy, como propuesta para mejorar estos aspectos, sería bueno contemplar la globalidad del dominio en cuanto a la instanciación, esto puede realizarse mediante la extensión de “Fordward Checking” a “Real Full Look Ahead”, o bien otra propuesta sería definir variables de peso que indiquen que tan costoso es retornar a la planta a medida que se instancian nodos, para de esta forma poder controlar en comportamiento y balancear en ejecución las relaciones entre costos y beneficios.

## 10 Bibliografía

### References

- [1] Guerrero Caramia. A milk collection problem with incompatibility constraints. *Interfaces*, 40(2):130–143, 2009.
- [2] Centeno Gunpinar. An integer programming approach to the bloodmobile routing problem. *Transportation Research*, 86:95–115, 2016.
- [3] Park Liu, Lei. On the multi-product packing-delivery problem with a fixed route. *Transportation Research*, 44(3):350–360, 2008.
- [4] Vergara Weitzler Miranda, Blazquez. A novel methodology for designing a household waste collection system for insular zones. *Transportation Research*, 77:227–247, 2015.
- [5] Samuel Eilon Nicos Christodes. An algorithm for the vehicle-dispatching problem. *Journal of the Operational Research Society*, 20:309–318, 1969.
- [6] Bronfman Cortés Luer-Villagra Paredes-Belmar, Marianov. The milk collection problem with blending and collection points. *Transportation Research*, 134:109–123, 2017.
- [7] Bronfman Obreque Luer-Villagra Paredes-Belmar, Marianov. A milk collection problem with blending. *Transportation Research*, 94:26–43, 2016.