

## **7. Heurísticas**

### **Temario**

- 1- Análisis del enunciado del problema.*
- 2- Resumen de la situación a resolver.*
- 3- Características del problema.*
- 4- Formulación de hipótesis y supuestos.*
- 5- Formulación del objetivo.*
- 6- Elaboración de la información disponible.*
- 7- Identificación de los elementos determinantes.*
- 8- Determinar importancia de los mismos.*
- 9- Definir el orden en que serán considerados.*
- 10- Heurística de construcción.*
- 11- Heurística de mejoramiento.*
- 12- Redactar el Pseudocódigo.*
- 13- Nivel de detalle requerido.*
- 14- Detectar y dilucidar situaciones de indiferencia.*

### **Problema Tipo N° 1**

Un comerciante compra artículos en la ciudad Uxal y los transporta hasta un pueblo en las montañas donde los vende. El transporte lo hace en un camión cerrado a un costo de 200 pesos por viaje, el camión tiene una capacidad de 60 m<sup>3</sup> y/o 20.000 kg. En la estiba hay un desperdicio del 5% del espacio.

La lista de artículos es muy larga a continuación vemos la primera hoja, las demás hojas tienen características similares.

Artículo	Precio de compra	Precio de venta	Peso por unidad(kg)	Volumen por unidad (m <sup>3</sup> )	Demanda mínima	Demanda máxima
A	33	40	2	0,005	200	400
B	50	70	3	0,01	100	200
C	25	30	1	0,05	500	600
D	68	80	5	0,02	300	600
E	46	50	2,5	0,003	800	900
F	18	30	3	0,02	300	500

### **Resolución del problema**

#### **1. Relevamiento y análisis**

*Hacemos las siguientes preguntas y obtenemos las correspondientes repuestas:*

a- P: ¿No existe un límite de dinero para comprar los artículos?

R: No, los artículos se compran a crédito así que no hay problema de disponer de fondos, lógicamente que hay un tope de crédito pero es mayor de lo que se puede meter adentro del camión.

b- P: ¿Me puede explicar la capacidad del camión, por qué kg y/o m<sup>3</sup>?

R: El camión es cerrado, tiene una especie de caja donde no entran mas de 60 m<sup>3</sup>, pero, al mismo tiempo si le cargamos mas de 20.000 kg violaríamos las reglamentaciones de tránsito.

c- P: Veamos si entendimos ¿ si le cargo algo muy pesado, tipo plomo, voy a poner 20.000 kg y me va a quedar espacio sobrante que no puedo usar?

R: Correcto.

d- P: ¿Y si le cargo algo muy liviano ocuparía los 60 m<sup>3</sup> pero no llegaría hasta los 20.000 kg?

R: Exacto, es así. En ambos casos el costo del viaje es de 200\$.

e- P: ¿Qué es la estiba?

R: Estibar es acomodar la carga adentro del camión.

f- P: ¿Y cómo se entiende ese 5% de desperdicio?

R: Quiere decir que, por mejor que acomoden las cosas adentro del camión, no se va a poder aprovechar todo el espacio, un 5% se desaprovecha.

*Aclaradas las dudas analizamos que debemos tener en cuenta la ganancia que genera cada artículo, y también el peso y el volumen.*

*Es más, en algunos casos será importante el peso, pero puede ocurrir que en otros casos sea más importante el volumen. ¿Cómo podemos hacer para determinar qué*

tener en cuenta en cada caso? Debemos analizar artículo por artículo para determinar qué es lo preponderante: si el peso o el volumen.

Supongamos que ya tenemos hecho eso y podemos hacer un ranking de artículos. En ese caso podemos usar el ranking para ir llenando el camión dando prioridad a los artículos mejor ubicados.

Por supuesto debemos primero cumplir con los mínimos por artículo y luego colocar los mas convenientes sin superar la demanda máxima.

## 2. Algunas hipótesis necesarias

- Los artículos pueden ser cargados en el camión aprovechando en forma efectiva el 95% del espacio. Independientemente de las formas de los embalajes, las cantidades a cargar y los distintos pesos de los artículos.
- Los artículos no se deterioran ni afectan de ninguna forma por la estiba.
- Dentro de los límites de la demanda establecidos se venderán todos los artículos.

## 3. Cálculo

Armemos una planilla con los datos necesarios:

Art.	Precio de compra	Precio de venta	Ganancia \$/unidad (Precio de venta – Precio de compra)	Peso por unidad (kg)	Cantidad máxima de unidades por peso	Volumen por unidad (m <sup>3</sup> )	Cantidad máxima de unidades por volumen	Mínimo de los dos máximos multiplicado por ganancia unitaria
A	33	40	7	2	10000	0,005	11400	70000
B	50	70	20	3	6667	0,01	5700	114000
C	25	30	5	1	20000	0,05	1140	5700
D	68	80	12	5	4000	0,02	2850	34200
E	46	50	4	2,5	8000	0,003	19000	32000
F	18	30	12	3	6667	0,02	2850	34200

La cantidad máxima de unidades por peso se calcula suponiendo que en el camión sólo colocáramos unidades de ese artículo, ídem para volumen. Lógicamente debemos tomar en cuenta el menor de los dos pues si quisiéramos cargar el mayor excederíamos el límite con el otro.

La última columna nos indica cuanto ganaríamos llenando el camión con ese sólo artículo y nos permite, ordenando de mayor a menor, obtener el ranking de los artículos. Para esta primera página el ranking sería B,A,D,F,E,C (el empate entre D y F lo resolvemos aplicando el orden en que aparecen los artículos).

## 4. Pseudocódigo de la heurística completa

- 1) Volumen máximo =  $60 * .95 = 57m^3$
- 2) Peso máximo = 20.000 kg
- 3) Volumen utilizado = 0
- 4) Peso utilizado = 0
- 5) Calcular peso y volumen de la demanda mínima de cada artículo
- 6) Volumen utilizado = Volumen utilizado + **S** Volumen demanda mínima artículo *i*

- 7)  $\text{Peso utilizado} = \text{Peso utilizado} + \mathbf{S} \text{ Peso demanda mínima artículo } i$
- 8) Comparar Volumen utilizado y peso utilizado con volumen máximo y peso máximo; si se excedieron el problema es incompatible, si no continuar.
- 9) Seleccionar entre los artículos que aún no llegaron a su demanda máxima aquél que esté mejor colocado en el ranking.
- 10) Para el artículo seleccionado calcular volumen y peso de las unidades entre demanda mínima y demanda máxima.
- 11)  $\text{Volumen utilizado} = \text{Volumen utilizado} + \text{Volumen artículo seleccionado}$
- 12)  $\text{Peso utilizado} = \text{Peso utilizado} + \text{Peso artículo seleccionado}$
- 13) Comparar Volumen utilizado y peso utilizado con volumen máximo y peso máximo; si se excedieron continuar, si no volver a (9).
- 14) Calcular máxima cantidad de unidades que se pueden agregar por peso y por volumen para el disponible ( $\text{Volumen Disponible} = \text{Volumen máximo} - \text{Volumen utilizado}$ , idem para peso). Tomar la menor de las dos.
- 15) Fin

“(...) agregó al cabo de una pausa:

—El secreto, por lo demás no vale lo que valen los caminos que me condujeron a él. Esos caminos hay que andarlos.

El profesor le dijo con frialdad:

—Comunicaré su decisión al Consejo. ¿Usted piensa vivir entre los indios?

Murdock le contestó:

—No. Tal vez no vuelva a la pradera. Lo que me enseñaron sus hombres vale para cualquier lugar y para cualquier circunstancia.

*El Etnógrafo (Elogio de la Sombra) – J. L. Borges*

## **Problemas a resolver**

### **7.1.**

Una fábrica de pinturas para exteriores quiere programar el funcionamiento de una máquina para fabricar sus distintos productos (seis colores distintos de pinturas látex) y para eso le ha encargado el problema a los Analizadores. Según les contó el dueño de la fábrica, cada vez que se quiere fabricar un color nuevo, se debe limpiar la máquina para prepararla. La cantidad de segundos que requiere esta operación depende del color que se estaba fabricando hasta ese momento y del color que se va a empezar a fabricar.

En la tabla siguiente se indica cada color  $C_i$  y se muestra la cantidad de segundos que se demora en preparar la máquina luego de que se fabricó el color que está en la fila, para poder comenzar a fabricar el color que está en la columna.

	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$	$C_6$
$C_1$	—	180	200	300	200	250
$C_2$	120	—	360	320	450	500
$C_3$	180	240	—	360	400	280
$C_4$	320	350	280	—	250	320
$C_5$	220	400	320	300	—	180
$C_6$	240	420	440	350	150	—

Como a la fábrica le piden siempre cantidades de esos seis colores, cuando termina de fabricar el último color de un pedido, debería limpiar la máquina para comenzar nuevamente con el pedido siguiente. El dueño quiere aumentar la cantidad de pedidos que puede aceptar, por lo que es muy importante para él que el proceso de fabricación sea lo más rápido posible.

### **7.2.**

Un barco de las Naciones Unidas debe ir a Ruanda con un cargamento de alimentos. Estos se enviarán en cajas, todas del mismo tamaño, por lo que se desea saber cuál es la mejor combinación de productos que debe contener cada una. A continuación se muestran los posibles componentes del cargamento y, para cada uno de ellos, la cantidad de personas que se puede alimentar colocando una unidad de producto en la caja (promedio de la UNESCO) y el volumen ocupado por una unidad del producto (se debe considerar que la caja tiene 1 metro cúbico de volumen):

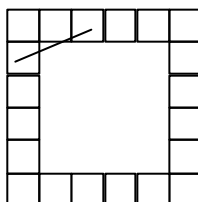
<b>Producto a enviar</b> (nombre y unidad de medida)	<b>Volumen ocupado</b> (m <sup>3</sup> /unidad)	<b>Personas a alimentar</b> (pers/unidad)
Arroz (paquetes)	0,10	4
Polenta (paquetes)	0,07	5
Almidón (cajas)	0,25	10
Harina (paquetes)	0,09	3
Agua Mineral (bot.)	0,30	0
Conservas (latas)	0,04	2
Leche en Polvo (cajas)	0,15	7

Cada una de las cajas puede contener más de una unidad de un mismo producto, pero no más de cinco. La ONU desea que el contenido de cada caja alimente a la mayor cantidad posible de personas.

Por cada caja de leche en polvo se deben incluir, al menos 3 botellas de agua mineral. Además por cada 5 personas que se puedan alimentar con la caja, esta debe contener, al menos, una botella de agua mineral

### 7.3.

Un saltamontes, o cualquier otro animal que se desplace a los saltos, quiere visitar los centros de las veinte casillas del diagrama que les mostramos a continuación, haciendo todos los saltos de longitudes diferentes. En la figura se da como ejemplo un salto, siendo su longitud la hipotenusa de un triángulo de catetos 2 y 3 (recordamos que la hipotenusa es la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de los catetos).



### 7.4.

Para la resolución del problema 3.18, la señorita Clara propone una heurística en vez de un modelo (aunque ella no sabe que lo que está proponiendo es una heurística). Lo que propone es asignar la primera ambulancia al distrito que tiene la menor distancia promedio a los otros (la distancia promedio se calcula sumando todas las distancias de la columna de un distrito y dividiendo el resultado por 7) y la segunda ambulancia al distrito que tenga la segunda distancia promedio.

Se pide:

- Criticá esta heurística indicando si es adecuada o no para este problema y por qué.
- Indicá también qué ventajas tendrá (si es que las tiene) hacer el modelo en vez de aplicar la heurística.

### 7.5.

Se quiere llenar las hojas de publicidad de una revista. En las hojas de publicidad irá solamente publicidad (es decir, ni notas, ni comentarios de ningún tipo). Las hojas de publicidad son 5 y los tipos de publicidad que hay son: media página, un

tercio de página, un cuarto de página y un sexto de página. Sabiendo que las medias páginas se cobran a  $\$P_1$ , un tercio de página a  $\$P_2$ , un cuarto de página a  $\$P_3$  y un sexto de página a  $\$P_4$  y que hay tantas publicidades que no se puede incorporar a todas; plantear una heurística para elegir entre 20 publicidades de cada tipo cuáles incluir.

### 7.6.

Se deben acomodar cinco paquetes que tienen forma de cubo (es decir que tienen todos sus lados iguales, por eso se indica una sola medida como lado), poniendo uno encima del otro, es decir, formando una especie de “torre” con los cinco cubos. A continuación se indican los datos de los cubos y las características del problema. Cada paquete puede soportar encima hasta un determinado peso, que es lo indicado en la tabla en la 3ª columna.

Paquete	Peso del paquete (kg.)	Peso máximo que puede soportar el paquete (kg.)	Lado del paquete (cm.)
A	5	F	a
B	4	G	b
C	7	H	c
D	9	I	d
E	3,5	J	e

### 7.7.

Se tienen cuatro trabajos que llamaremos A, B, C y D. Cada uno de ellos consta de dos tareas, una debe hacerse en la máquina  $M_1$  y la otra en la máquina  $M_2$ . A continuación indicamos, para cada trabajo, el orden de procesamiento y los tiempos de procesamiento en cada máquina.

Trabajo	Orden de procesamiento.	Tiempo de proces. en $M_1$	Tiempo de proces. en $M_2$
A	Primero debe pasar por $M_1$ y luego por $M_2$ .	2 minutos	4 minutos
B	Libre (pasa en el orden que se desee por $M_1$ y $M_2$ )	5 minutos	10 minutos
C	Primero debe pasar por $M_1$ y luego por $M_2$ .	3 minutos	2 minutos
D	Primero debe pasar por $M_1$ y luego por $M_2$ .	1 minuto	5 minutos

Se pide:

- Plantea dos heurísticas de construcción para resolver este problema.
- Indicá, de acuerdo con los datos anteriores, cuál de las dos heurísticas que planteaste considerarás que es mejor para este problema en particular y por qué.

### 7.8.

Un cajero amigo está en una cabina del microcentro, dedicado al cobro de impuestos y servicios. A la mañana le dan una cantidad limitada de monedas de 5, 10, 25 y 50 centavos para dar los vueltos inferiores a un peso. Le dan la misma cantidad de monedas de cada tipo (supongamos que le dan 100 monedas de cada valor).

Indicá una heurística para que el cajero pueda dar la mayor cantidad de vueltos de menos de un peso antes de pedir monedas nuevamente. Suponé que el cajero no puede pedirle monedas a los clientes siempre que le sea posible darle vuelto con las

que tiene. También, que nadie viene con las monedas a pagar (es decir, el cajero no recibirá monedas).

☞ *Despreocúpate de los vueltos de un peso o más.*

### 7.9.

Te pedimos que plantees una heurística de construcción para resolver el problema de grabar una cinta (o cassette) con los temas de tres compacts determinados. Plantea la heurística sabiendo que todos los compacts con los cuales vas a trabajar tienen 15 temas y que a la heurística se le suministrará como dato la duración de cada uno de los 15 temas (siendo  $D_i$  la duración del tema  $i$ ). Esta heurística de construcción debe recibir como dato la duración de la cinta (30, 60 ó 90 minutos) y debe tratar de grabar la mayor cantidad de temas posibles. Los temas, si se incluyen, deben incluirse enteros. Sea cual fuere la duración de la cinta, no será posible incluir los 45 temas.

Se pide:

- a- Plantea una heurística de construcción para resolver este problema.
- b- ¿Qué le agregarías a tu heurística para que asegurara incluir al menos un tema de cada compact?

### 7.10.

Una parte de “Los adoradores de JAR” está trabajando en Atlanta para armar unos juguetes que se venderán como recuerdo de los Juegos Olímpicos. Para armar un juguete (una unidad) se forma un par de trabajadores que se reparten las tareas. A continuación se indican los datos de las tareas para armar un juguete.

- Para comenzar la tarea C deben estar terminadas la A y la B.
- Para comenzar la tarea E debe estar terminada la D.
- Para comenzar la tarea F deben estar terminadas la C y la E.
- El juguete queda armado cuando se terminaron todas las tareas.
- Se desea determinar la distribución de las tareas entre los dos trabajadores para que un juguete quede armado en el menor tiempo.

Tarea	Duración (en segundos)
A	10
B	12
C	8
D	7
E	13
F	8

Se pide:

- a- Plantea dos heurísticas de construcción para resolver este problema.
- b- Indica, de acuerdo con los datos anteriores, cuál de las dos heurísticas que planteaste consideras que es mejor para este problema en particular y por qué.

### 7.11.

La ciudad de Winniopolis tiene un problema grande (o quizás una oportunidad). El despachante del departamento de bomberos se está por jubilar después de 40 años de servicio. Desafortunadamente aparte de una o dos vacaciones que se tomó, siempre ha sido él el encargado de hacer todos los despachos, así que nadie ha aprendido cómo



manejar las compañías de bomberos por la ciudad. La oportunidad es que se va a computarizar el sistema y quizás se encuentre la “mejor” de las soluciones.

La compañía en la cual trabajamos, Arthur Alanson Consultora, espera conseguir el contrato para computarizar el departamento de bomberos. Como prueba para conseguirlo la empresa nos ha entregado una pequeña parte del problema y nosotros deberemos entregarle la mejor solución posible.

Winnipeg tiene 26 estaciones de bomberos pero sólo 12 compañías de bomberos. Todas las estaciones están equipadas para manejar una sola compañía de bomberos. Durante un incendio otra parte del sistema (que no está bajo nuestro control) mandará una o varias compañías para controlar el fuego. Nosotros somos responsables entonces de reacomodar las compañías restantes para que la ciudad todavía cuente con un control adecuado de los incendios.

La ciudad está dividida en 29 barrios (ver mapa adjunto). Cada barrio, excepto el 14, 23 y 24 (el centro) tiene su estación de bomberos. Si una estación de bomberos está ocupada, provee un adecuado control de los incendios a su propio barrio y también a los barrios adyacentes (dos barrios se dicen adyacentes cuando coinciden en más de un punto, los barrios 28 y 20 no son adyacentes).

Durante un incendio (o incendios), se van a vaciar varias estaciones y posiblemente dejen algún barrio sin compañía de bomberos. Nuestro sistema deberá reacomodar las compañías dentro de la ciudad para restaurar el servicio. Se ha decidido evaluar nuestro sistema basándose únicamente en una combinación de la distancia total que las compañías deben recorrer y el número de compañías que se mueven. Las distancias se miden en millas, con una penalización de 2 millas por cada compañía que se mueve. Se debe tener en cuenta que, al mover una compañía, ésta deja vacía su estación y posiblemente ocasione que queden barrios sin cobertura.

A Winnipeg le interesa contestar un número específico de preguntas:

- a- Lo más común dentro del sistema (además de no tener ningún incendio) es que una sola compañía controle un incendio. ¿Cómo debería ser la respuesta en estos casos?
- b- Otro caso crítico es cuando se declara un gran número de incendios y un número de compañías no están disponibles. ¿Cuál es el número mínimo de compañías que se necesitan para tener a toda la ciudad cubierta? Winnipeg también está interesada en las ideas para este problema en el sistema de computadoras. Por supuesto, como el contrato no ha sido adjudicado aún, no vamos a crear realmente el sistema. Simplemente vamos a delinear las ideas que tenemos para algunas heurísticas y algoritmos. Hay dos casos en particular que son de interés (c- y d-).
- c- El caso más difícil para un despachante es aquél en el cual se declara un gran número de incendios y la ciudad queda con una cobertura mínima (como en la pregunta b). Dado el estado en el cual se encuentra la ciudad ¿cómo va a decidir la computadora cuáles de las compañías que quedaron se deben mover y a dónde deben moverse?
- d- ¿Cómo funcionará el sistema en una situación intermedia en la cual hay más que el número mínimo de compañías disponibles pero varias compañías no están disponibles? Para ayudar en este caso se pueden ilustrar las técnicas con las situaciones siguientes (junto con el resultado histórico):
  - 1,2 y 7 no están disponibles (el despachante movió 22 a 3 y 13 a 6)
  - 19, 21, 22 y 28 no están disponibles (movió 17 a 28, 27 a 26 y 13 a 22)

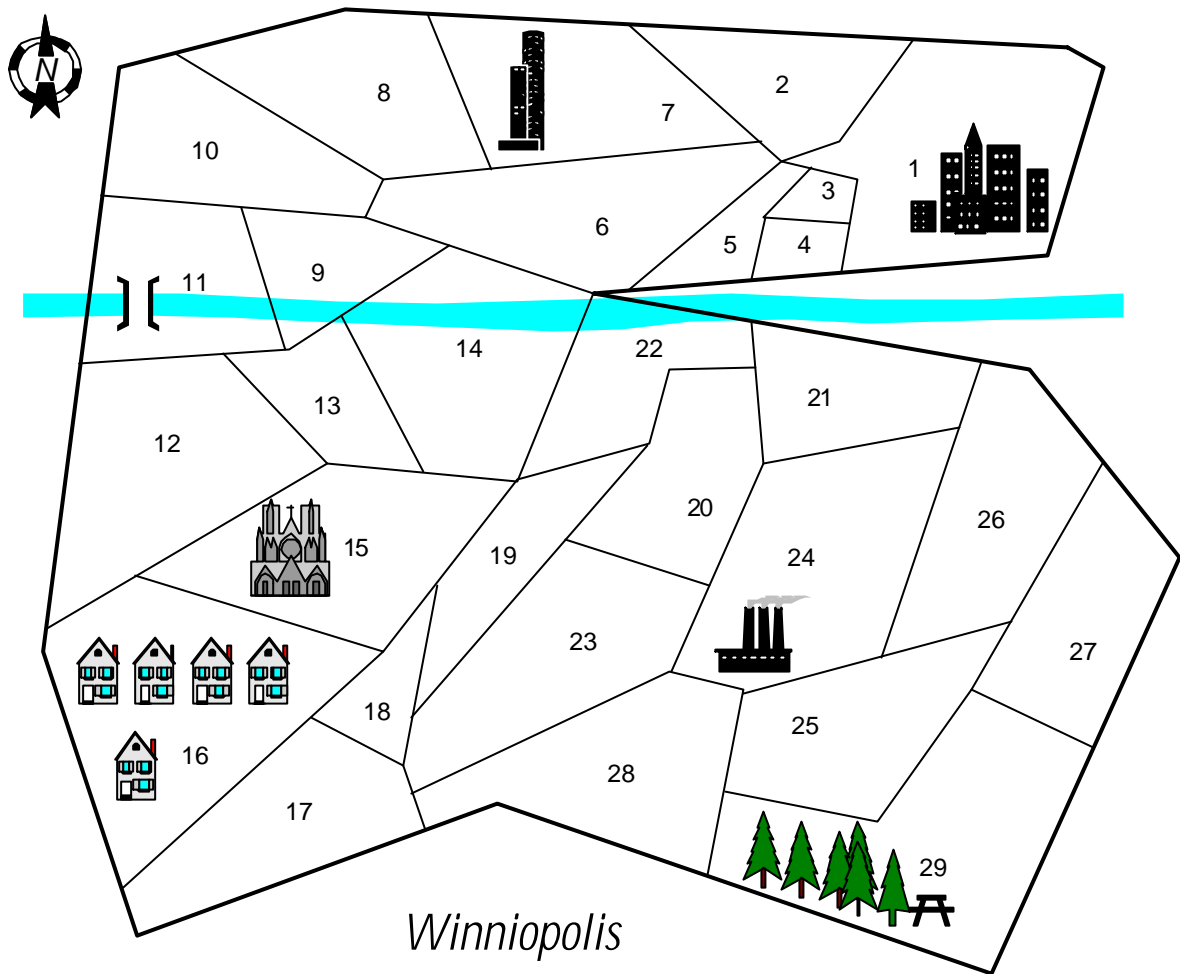
- 1, 2 y 27 no están disponibles (movió 21 a 26 y 7 a 5)

El fin no es sólo resolver la situaciones planteadas arriba, sino encontrar una heurística general para este problema que funcione bien para cualquier configuración de compañías que no estén disponibles. El programa que implemente la heurística no debe tardar más de dos minutos en una computadora personal.

A continuación se indican las coordenadas en las cuales están ubicadas cada una de las estaciones que existen en la ciudad:

Estación	X	Y	Estación	X	Y
1	600	130	15	130	400
2	500	70	16	50	550
3	500	180	17	200	600
4	500	220	18	200	550
5	440	220	19	300	420
6	300	160	20	400	350
7	330	80	21	450	320
8	230	80	22	370	320
9	200	190	25	550	550
10	110	110	26	600	500
11	130	200	27	680	480
12	70	300	28	400	520
13	180	290	29	480	620

☞ *Caso original escrito por Michael Trick para la cátedra de Investigación Operativa de la Universidad de Carnegie Mellon, USA*



### 7.12.

Una empresa de distribución de correspondencia debe clasificar los giros que han sido despachados y enviarlos a las casillas de correo correspondientes para cada uno. Es beneficioso que los giros lleguen lo más rápidamente posible. La clasificación se hace con una mini-computadora basada en la máquina clasificadora de cheques. Antes de que un lote de giros pase a través de la máquina, ésta debe ser programada en una forma simple y rápida de tal modo que especifique la bolsa de destino para cada giro de acuerdo con su destino. Para procesar cada giro, el clasificador lee un código de barras del cual decodifica la casilla postal y dirige el giro a la bolsa que corresponde. Como la máquina tiene 4 bolsas, si hay más de cuatro destinos para los giros, entonces algunas bolsas colectarán giros de varios destinos.

Si una fracción importante de giros de un lote pertenece a una misma casilla postal, entonces una bolsa será programada para recibir giros solamente de esa casilla. Los giros de esa bolsa se dice que se “matan” en este paso. Los giros que son colectados en una bolsa no individual, no se “matan” en el paso y deben volver a pasar por la máquina.

Tenemos los datos estadísticos del año pasado, en los cuales se identificaron las 25 casillas postales con las que se opera con más frecuencia. El promedio diario de giros procesados se tabula así (C significa casilla y Giros, la cantidad de giros por día):

C	Giros
A	600
B	200
C	100
D	400
E	800

C	Giros
F	9000
G	500
H	100
I	4000
J	4500

C	Giros
K	2000
L	12000
M	10000
N	500
O	900

C	Giros
P	5000
Q	300
R	1200
S	3000
T	2000

C	Giros
U	800
V	600
W	400
X	1000
Y	500

La computadora puede procesar 200 giros por minuto. El método actual de clasificación de giros asigna 6 casillas a cada una de 3 bolsas y 7 casillas a la cuarta bolsa (en la primera pasada). En la segunda pasada, cada una de las cuatro bolsas anteriores se procesa como un lote separado y 3 de las 6 ó 7 casillas se “matan” cuando se procesa cada lote. En el tercer paso se procesan cuatro lotes y cada una de las tres o cuatro casillas de cada lote se “matan”.

Inicializar (set-up) el clasificador para procesar cada lote lleva muy poco tiempo. El tiempo total de clasificación es proporcional al número de giros que pasan por la máquina en el procesamiento de todos los lotes. La persona que maneja el clasificador dice que tal vez no clasifique los giros de la forma más eficiente. Tal vez más casillas grandes deban ser “matadas” en el primer y segundo paso.

- a- Desarrollá un método heurístico que mejore el método de clasificación actual. Planteálo en una forma general pero precisa, tal que pueda aplicarse a cualquier número de casillas de correo y a un proceso con cualquier cantidad de bolsas de clasificación.
- a- Formulá el problema como un programa entero. Se pueden definir las variables usadas  $X_{ij} = 1$  si la casilla de correo  $i$  se “mata” en la pasada  $j$ , 0 de lo contrario. Otras formulaciones que no involucren estas variables, también pueden ser correctas.
- b- Suponé que hay un tiempo de “set-up” el cual es incurrido por cada lote procesado. ¿Cómo afecta esto a los dos procedimientos anteriores? Considerá que ese tiempo de “set-up” es de 3 minutos. Ahora, hacé el mismo análisis considerando que el tiempo es de 60 minutos. ¿Llegás a la misma conclusión? ¿Podrías decir a partir de qué valor de “set-up” el procedimiento indicado en el punto 1) pasa a ser menos conveniente que el proceso que actualmente está aplicando la empresa?

☞ *Para cada pregunta, probá tu solución en el problema de las 25 casillas de correo. Además, discutí las ventajas y las desventajas de la aproximación a cada pregunta si fueran aplicadas a un problema tan grande como uno con 400 casillas de correo y 20 bolsas de clasificación.*

### 7.13.

En una determinada ciudad (que no es Buenos Aires, por supuesto), el intendente se encuentra preocupado por la limpieza, dado que ha aparecido un artículo en el diario local en el cual se denuncia que las calles no se han limpiado durante semanas, y la basura se acumula. Como el intendente lo que no puede soportar es la acumulación de quejas sobre su escritorio, entonces decide derivar el problema a un asistente suyo, con amplios conocimientos de modelos matemáticos. Suponé por un momento que vos sos ese asistente. Lo primero que podés hacer es hablar con el Secretario General del Sindicato de Operarios de Mantenimiento de la Municipalidad, que se desempeña aún como operario, para que te cuente de qué se trata actualmente

el trabajo. Lo que él te cuenta es lo siguiente: “Antes que nada, le aclaro que nosotros no limpiamos las calles, sino solamente los lados que están al lado del cordón. La limpieza se hace con escobas mecánicas, lo cual es mucho mejor que usar escobillones corrientes, pero tenemos que colocarlas en el dispositivo que tiene el camión”. Además proporciona los siguientes detalles:

- Hay algunas reglas sindicales que limitan el tiempo durante el cual pueden operar diariamente los camiones.
- Para que el camión pueda barrer el cordón, no debe haber autos estacionados.
- Algunos vecindarios han instituido regulaciones al estacionamiento que coinciden con la ruta que se ha diseñado para los camiones (se trata de la ruta que siguen actualmente estos camiones).
- En varias áreas, solamente serían necesarias algunas regulaciones simples de estacionamiento, tales como fijar que se estacione en días alternados en cada una de las aceras.
- Algunas regulaciones de estacionamiento no se pueden cambiar, porque costaría mucho instalar otras señales de estacionamiento.
- Pueden originarse complicaciones en las calles de una sola mano y en las áreas en las cuales la alineación no es norte-sur o este-oeste.
- La ciudad se divide en distritos o barrios y los recorridos de los camiones no pueden cruzar las líneas de división de los distritos.
- En las calles de un solo sentido, para poder limpiar el lado derecho, hay que cambiar de lado las escobas del camión, pero esta operación requiere que el conductor detenga el camión y haga los cambios. Esta operación demanda 3 minutos.
- Se desea evitar los giros a la izquierda y los giros en U.

Al asistente se le ocurre una primera idea: un cruce de calles puede ser representado por un nodo y cada lado de la calle se representa por un arco en un grafo dirigido (es decir que además se puede representar la dirección en la cual va el tránsito). Las calles que tienen una sola dirección se representan como dos arcos entre el mismo par de nodos en la misma dirección. La cantidad de tiempo que un camión limpiador tarda en barrer un tramo es la longitud del arco. Entonces, el problema se reduce a encontrar un conjunto mínimo de rutas factibles que cubren todos los arcos. Sin embargo, estaba bastante confundido acerca de las restricciones de tiempo, las de líneas límite de distrito, cómo manejar los giros a la izquierda y los giros en U. Por otra parte, a veces puede ser necesario volver a pasar por una calle que ya ha sido limpiada, pero pasar con los escobillones en alto (es decir, mientras se pasa, no se está volviendo a limpiar). Subir o bajar los escobillones lleva 1,5 minutos. Todo este proceso debe estar acompañado por un sistema de penalizaciones, por ejemplo: 1 para cada giro a la derecha, 4 para cada giro a la izquierda y 8 para un giro en U.

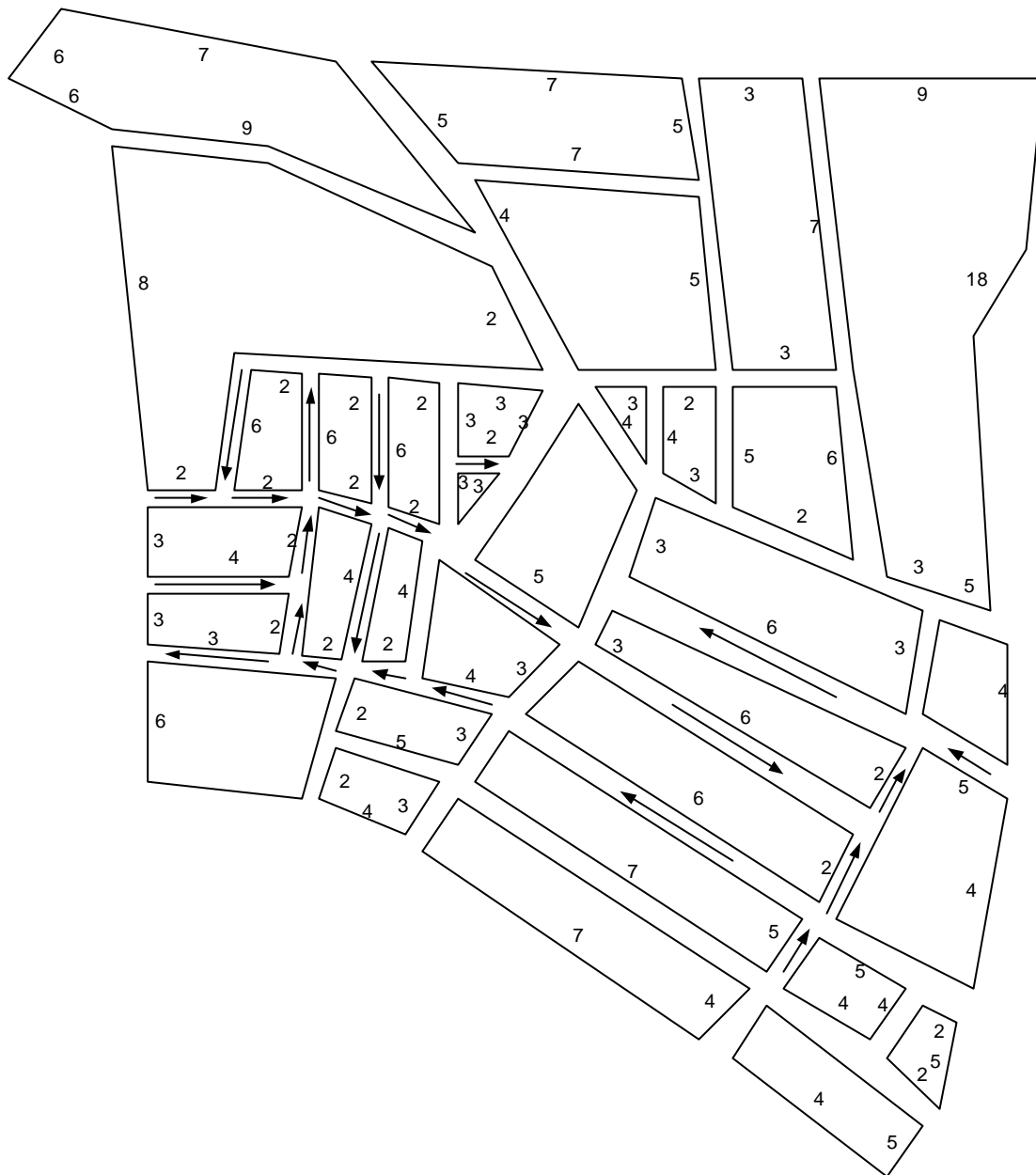
Todas estas ideas deben ser llevadas a la práctica. Para poder hacerlo se obtuvo un mapa de la ciudad. El mapa 1 que vemos muestra los segmentos de calles que tienen un solo sentido, el cual se indica con la flecha que apunta hacia donde va la calle. Un segmento de calle se considera entre otras dos calles. Hay 24 segmentos de una sola mano. El tiempo (en minutos) que lleva a un vehículo atravesar dicho segmento con las escobillas en la posición de trabajo (bajas) se indica para cada segmento en dicho mapa.

No se debe limpiar toda la calle, sólo una de las partes que están “pegadas” al cordón. Las otras calles y los otros cordones de las calles se limpiarán otros días, de acuerdo con las regulaciones de estacionamiento. Todas las operaciones de limpieza de este área se deben completar entre las 7 y las 8 de la mañana después de que los vecinos sacaron sus vehículos rumbo a sus trabajos. Se trata de determinar si se necesita establecer otra ruta de trabajo, distinta de la actual, o conseguir más vehículos para la ruta actual. Las calles que se limpian actualmente en una sola pasada se indican en el mapa 2 marcados con (\*). Hay 33 segmentos de este tipo, marcados. En el mapa 3 vemos las mismas calles sin nada marcado.

Desarrollá una heurística para solucionar el problema de la limpieza de la ciudad. Si tomás una de las dos políticas expresadas en el párrafo inmediato anterior, justificá por qué lo hacés. Defendé tu planteo: ¿por qué creés que permite encontrar la mejor solución al problema de la ciudad?

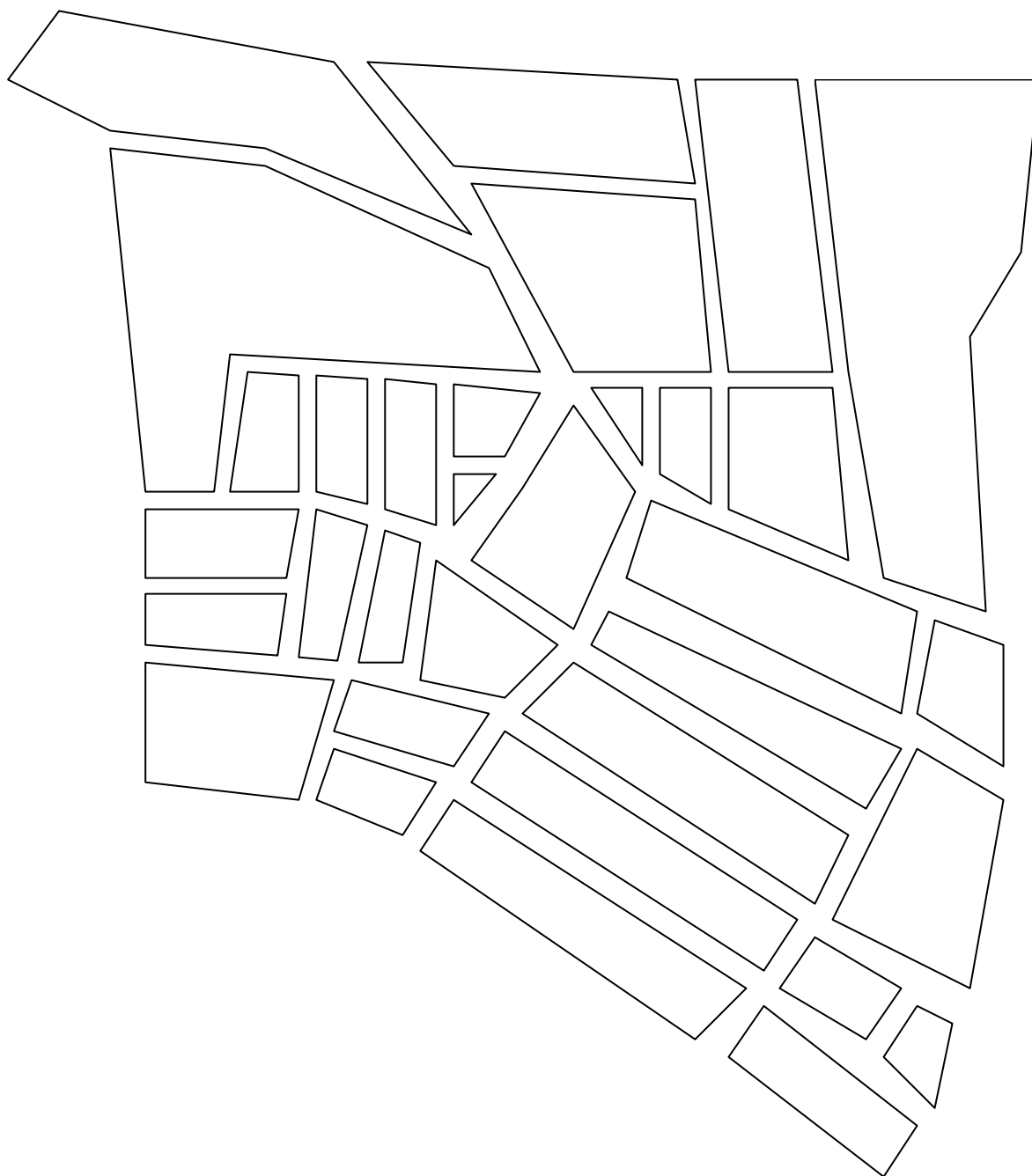
☞ *Basado en “Municipal Street Sweeping Operations”, desarrollado por el Profesor Anuj Mehrotra para la Universidad de Carnegie Mellon U.S.A.*

### Mapa 1







Mapa 3

## **Epílogo**

*A lo largo de estas páginas, hemos recopilado ejercicios y resoluciones que, a nuestro entender, los guiarán en el aprendizaje de la materia. Pero recuerden que ningún guía puede recorrer un camino por sus “guiados”. Por lo tanto, aquí no encontrarán ni “recetas mágicas” ni frases para repetir de memoria en el momento del examen: simplemente hallarán herramientas que, bien aplicadas, les podrán ser de mucha utilidad.*

*Es entonces donde empiezan a recorrer el camino ustedes. Porque para saber qué herramienta es mejor en cada caso, hay que recurrir a la práctica. Pero la práctica no sólo sirve para esto: a través de ella, además, es posible que descubran métodos tan válidos como los aquí propuestos y con los cuales ustedes se sientan más cómodos. Úsenlos. Modelos es una materia que les permite crear sus propias herramientas, su propia forma de recorrer el camino. Y cuanto más a gusto ustedes lo hagan, más sencillo les resultará aprender, más fácil les resultará alcanzar sus objetivos. Y ése, ése es nuestro objetivo.*

*“El auxilio de los ojos es importante, tanto como el auxilio de lo que es visto por ellos. Por eso lo que los dedos siempre han hecho mejor es revelar lo oculto. Lo que en el cerebro pueda ser percibido como conocimiento infuso, mágico o sobrenatural, signifique lo que signifique sobrenatural, mágico e infuso, son los dedos y sus pequeños cerebros quienes lo enseñan. Para que el cerebro supiese lo que era la piedra, fue necesario que los dedos la tocaran, sintiesen su aspereza, el peso y la densidad, fue necesario que se hiriesen en ella. Sólo mucho tiempo después, el cerebro comprendió que de aquel pedazo de roca, se podría hacer una cosa a la que llamaría puñal y una cosa a la que llamaría ídolo.”*

*La Caverna, José Saramago*