

---

# Gestió de flotes

---

PID\_00260701

Mariona Vilà Bonilla

---

Temps mínim de dedicació recomanat: 2 hores

---



**Mariona Vilà Bonilla**

Enginyera química i doctora en Administració i Direcció d'Empreses per la UPC. Va treballar com a professora ajudant en el Departament d'Organització d'Empreses de la UPC (EUETIB) durant cinc anys, on impartia classes sobre organització de la producció. El 2015 va realitzar una estada de recerca a la Universitat Adolfo Ibáñez (Xile). Actualment, treballa a l'EAE Business School, on és responsable dels programes d'excel·lència acadèmica i docent sobre organització i administració d'empreses. La seva tasca investigadora se centra en l'estudi dels problemes d'optimització combinatoria i disseny de línies de muntatge.

L'encàrrec i la creació d'aquest recurs d'aprenentatge UOC han estat coordinats pel professor: Eduard Josep Alvarez Palau (2019)

Primera edició: febrer 2019  
© Mariona Vilà Bonilla  
Tots els drets reservats  
© d'aquesta edició, FUOC, 2019  
Av. Tibidabo, 39-43, 08035 Barcelona  
Disseny: Manel Andreu  
Realització editorial: Oberta UOC Publishing, SL

*Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars del copyright.*

# Índex

<b>1. Introducció a la gestió de flotes</b> .....	5
<b>2. Dimensionament de flotes</b> .....	6
2.1. Problema d'enrutament de vehicles .....	6
2.2. Problema d'enrutament de vehicles generalitzat .....	8
<b>3. Gestió de flotes</b> .....	11
3.1. Seguiment de vehicles .....	11
3.1.1. Seguiment passiu contra actiu .....	12
3.2. Gestió de conductors .....	12
3.3. Compliment d'horaris i control .....	13
3.4. Gestió de retards i incidents .....	13
3.5. Cicle de vida i manteniment .....	14
<b>Bibliografia</b> .....	17



## 1. Introducció a la gestió de flotes de vehicles

Tant si la nostra empresa es dedica al transport amb una flota pròpia, com si subcontracta els serveis d'una empresa especialitzada en transports, la inversió que les empreses fan en transport és cada vegada més gran. Moltes empreses ja no solament competeixen en preus o en les especificacions de productes, sinó que cada vegada es competeix més en rapidesa: aquell que és capaç d'arribar abans al consumidor o al client, és qui aconsegueix una quota més gran de mercat, ja que els clients cada vegada valoren més la comoditat i la immediatesa.

El transport en aquestes empreses normalment s'organitza en flotes de vehicles, la importància dels quals és vital pels factors anteriorment descrits. Atès l'essencial que resulta el transport en el context empresarial actual, és fonamental dur a terme una gestió correcta de les flotes de vehicles amb què es realitzarà el transport.

La gestió de flotes inclou moltes funcions, des del manteniment dels vehicles, fins a la gestió dels conductors, passant pel dimensionament de les flotes i la gestió dels retards. En els propers capítols veurem aquestes diferents parts de la disciplina de la gestió de flotes, definint-les, subratllant la seva importància i donant algunes de les opcions existents per a la seva gestió correcta.

## 2. Dimensionament de flotes

Fins i tot abans d'adquirir o subcontractar una flota de vehicles, apareix un dels primers problemes relacionats amb la gestió de flotes, el seu dimensionament. Saber quants vehicles calen per a cobrir tota la demanda de la nostra empresa és essencial per a assegurar que la quantitat de recursos que s'inverteixen en la flota de vehicles no sigui ni massa alta, causant la immobilització d'actius a l'excés, ni massa baixa, provocant costos extra per lliuraments amb retard (entre d'altres incidents).

En el cas d'una empresa en què les rutes i els punts de demanda estan definits, el problema del dimensionament de flotes es resol normalment alhora que es realitza el disseny de les rutes, generalitzant el problema d'enrutament dels vehicles. Per exemple, en el cas dels serveis de repartiment/recollida de paqueteria, o serveis de transport públic, entre d'altres, les rutes s'han de planificar juntament amb el dimensionament de les flotes. Hi ha casos en què les rutes no estan definides i, per això, no té sentit realitzar el dimensionament de forma paral·lela al disseny de les rutes, com per exemple en els serveis de taxi, *car-sharing*, els serveis d'emergència (com ara policia, bombers o ambulàncies), etc. Per a dimensionar aquest tipus de flotes no hi ha mètodes ni programari específics, sinó que hi ha un programari genèric de simulació que es pot utilitzar per a la seva resolució.

Per aquesta raó, en la secció següent ens centrarem en el problema d'enrutament de vehicles (VRP, per les seves sigles en anglès, *vehicle routing problem*), i la seva resolució per tempteig per al dimensionament de les flotes, per a després donar una versió generalitzada del mateix problema.

### 2.1. Problema d'enrutament de vehicles

Començarem aquesta secció recordant la formulació matemàtica del problema clàssic d'enrutament de vehicles.

Per a aquest exemple, parlem d'una flota de  $K$  vehicles que realitzaran  $K$  rutes diferents, cadascun amb una capacitat  $U$ . També suposem un graf  $G$ , format per un conjunt de nodes (ciutats)  $N$  i un conjunt d'arcs  $A$ . El node origen  $s$  ( $s \in N$ ) és conegut i representarà el punt de partida de la flota de vehicles. Cada node  $i$  té una demanda associada  $D_i$ . Cada parell de nodes  $i, j$  ( $i, j \in N$ ) té un cost associat  $C_{ij}$  al camí que hi ha entre aquests. El model utilitzarà variables binàries  $X_{ij}^k$ , que valdran 1 si l'arc entre el node  $i$  i el node  $j$  forma part de la ruta  $k$ , i 0 en cas contrari, i també variables binàries  $Y_{ij}$  que valdran 1 si algun vehicle utilitza el camí que va d' $i$  a  $j$ , i 0 en cas contrari.

Així, el model del problema d'enrutament de vehicles ve definit per la funció objectiu (1), subjecte a les restriccions (2), (3), (4), (5), (6), (7), (8), (9) i (10):

$$\text{MIN} \sum_{\forall k} \sum_{\forall i, j \in N} C_{ij} \cdot X_{ij}^k \quad (1)$$

Subjecte a:

$$X_{ij}^k \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N, \forall k \quad (2)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N \quad (3)$$

$$\sum_{1 \leq k \leq K} X_{ij}^k = Y_{ij} \quad \forall i, j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq |N|} Y_{ij} = 1 \quad \text{per a } i = 2, 3, \dots, |N| \quad (5)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq |N|} Y_{ij} = 1 \quad \text{per a } j = 2, 3, \dots, |N| \quad (6)$$

$$\sum_{1 \leq j \leq |N|} Y_{s,j} = K \quad (7)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq |N|} Y_{i,s} = K \quad (8)$$

$$\sum_{2 \leq i \leq n} \sum_{1 \leq j \leq n} D_i \cdot X_{ij}^k \leq O \quad \forall k \quad (9)$$

$$\sum_{\forall i, j \in Q} Y_{ij} \leq |Q| - 1 \quad \text{on } Q \subset N, 3 \leq |Q| \leq |N| - 3 \quad (10)$$

La funció objectiu (1) minimitza el cost de totes les rutes. Les restriccions (2) i (3) asseguren que les dues variables tinguin valors binaris. La restricció (4) determina la relació entre ambdues variables: quan alguna de les  $K$  rutes passi pel camí  $i, j$  i així ho indiqui la variable  $X_{ij}$ , la variable  $Y_{ij}$  haurà d'indicar que aquest camí està en ús. Les restriccions (5) i (6) indiquen que el pas per cada node és únic, és a dir, és necessari assegurar-se que cada punt de demanda (node) és visitat una sola vegada, excepte en el cas del node origen. Les restriccions (7) i (8) asseguren que el node origen és visitat tantes vegades com rutes hi ha, ja que totes les rutes parteixen del mateix node origen. La restricció (9) assegura que cada ruta compleixi amb la demanda de cada node sense superar la capacitat màxima del vehicle. Finalment, la restricció (10) és una restricció per a suprimir *subtours*, és a dir, no permet que les rutes solució siguin diversos *subtours* desconnectats entre si.

Amb aquest model implementat en un programari de resolució de models matemàtics, una primera aproximació a la resolució del problema de dimensionament associat és la resolució iterativa del problema d'enrutament de vehicles. Una vegada triat un model de vehicle, del qual es coneix el preu i la capacitat, es resol el problema amb un nombre temptatiu de vehicles  $K$ . Si el model no troba una solució factible, és perquè el nombre de vehicles triat no cobreix tota la demanda i, per tant, cal augmentar el nombre de vehicles.

Resoldre el VRP iterativament, fins a trobar un nombre  $K$  que pugui cobrir tota la demanda i la inversió de la qual (preus dels vehicles que s'han d'adquirir) entri dins del nostre pressupost, és una manera de trobar una primera aproximació al dimensionament de la nostra flota. No obstant això, aquesta primera solució factible ens proporcionarà la mida més petita de la flota més petita amb què podem cobrir tota la demanda, però pot donar com a resultat una solució subòptima del VRP. És a dir, encara que aquesta primera solució donarà com a resultat una inversió menor en l'adquisició de la flota, pot existir una solució amb més vehicles que redueixi significativament els costos de transport totals de les rutes generades. És per això que, mentre la inversió no superi el nostre pressupost, s'haurien de generar solucions iterativament amb més vehicles, per a assegurar que no ens estem conformant amb una solució subòptima.

No obstant això, aquest procediment té una limitació clau, ja que està assumint que tots els vehicles tenen el mateix preu i la mateixa capacitat. És molt possible que, per a optimitzar el dimensionament de la nostra flota, sigui més recomanable combinar diversos models de vehicles. En la secció següent, veurem la versió més generalitzada del problema d'enrutament de vehicles, que es pot utilitzar per al dimensionament de flotes heterogènies.

## 2.2. Problema d'enrutament de vehicles generalitzat

Com ja avançàvem en la secció anterior, el problema d'enrutament clàssic es pot resoldre de forma iterativa per a dimensionar la flota de vehicles a utilitzar. No obstant això, aquest procediment no solament és tediós perquè requereix la resolució de molts problemes VRP (que en si mateix no resulta un problema ràpid de resoldre), sinó que, a més, el problema base suposa que la nostra flota serà homogènia. És a dir, considera que tots els vehicles tenen la mateixa capacitat i no considera possibles costos fixos dels vehicles (perquè si el cost fix és el mateix per a tots els vehicles, no és un paràmetre rellevant per a prendre la decisió). A més, l'objectiu del problema és solament minimitzar els costos totals de transport, però no es considera l'optimització de la quantitat de vehicles.

Per això, a continuació es presenta una generalització del problema d'enrutament de vehicles que sí que té en compte la possibilitat de flotes heterogènies. En aquest problema, suposarem que hem triat uns quants models de vehicle, cadascun amb les seves característiques, dels quals tenim una disponibilitat limitada. Volem dissenyar les rutes òptimes per a la nostra flota,



ahora que triem el vehicle més adequat per a cadascuna d'aquestes rutes. El resultat ens indicarà les rutes i el nombre de vehicles de cada model que conformaran la nostra flota (i també l'assignació model-ruta). Podem definir el problema amb el model matemàtic següent:

Suposem una flota de  $T$  tipus de vehicles ( $1 \leq t \leq T$ ), cada tipus amb una capacitat  $U_t$ , disponibilitat  $M_t$  (quants vehicles d'aquest tipus podem utilitzar com a màxim) i un cost fix anual  $F_t$ . També suposem un graf  $G$ , format per un conjunt de nodes (ciutats)  $N$  i un conjunt d'arcs  $A$ . El node origen  $s$  ( $s \in N$ ) és conegut i representarà el punt de partida de la flota de vehicles. Cada node té una demanda associada  $D_i$ . Cada parell de nodes  $i, j$  ( $i, j \in N$ ) té un cost associat  $C_{ij}$  al camí que va entre aquests. El model utilitzarà variables binàries  $X_{ij}^t$ , que valdran 1 si un vehicle de tipus  $t$  viatja per l'arc entre el node  $i$  i el node  $j$ , i 0 en cas contrari, i també variables enteres  $Y_{ij}$  que indiquen la quantitat de flux (mercaderies) que es transporten de  $i$  a  $j$ .

Així, el model del problema d'enrutament de vehicles ve definit per la funció objectiu (11), subjecte a les restriccions (12), (13), (14), (15), (16), (17) i (18):

$$\text{MIN} \sum_{\forall t} F_t + \sum_{\forall j \neq s} X_{sj}^k + \sum_{\forall t} \sum_{\substack{\forall i, j \in N \\ i \neq j}} C_{ij} \cdot X_{ij}^t \quad (11)$$

Subjecte a:

$$X_{ij}^t \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N, \forall t \quad (12)$$

$$Y_{ij} \geq 0 \quad \forall i, j \in N \quad (13)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq |N|} \sum_{1 \leq t \leq T} X_{ij}^t = 1 \quad \text{per a } j = 2, 3, \dots, |N| \quad (14)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq |N|} X_{ip}^t - \sum_{1 \leq j \leq |N|} X_{pj}^t = 0 \quad \text{per a } p = 2, 3, \dots, |N|, \forall t \quad (15)$$

$$\sum_{2 \leq j \leq |N|} X_{sj}^t \leq M_t \quad \forall t \quad (16)$$

$$\sum_{1 \leq i \leq |N|} Y_{ij} - \sum_{1 \leq k \leq |N|} Y_{ki} = D_j \quad \text{per a } j = 2, 3, \dots, |N| \quad (17)$$

$$D_j \cdot X_{ij}^t \leq Y_{ij} \leq (U_t - D_i) \cdot X_{ij}^t \quad \forall k, \forall i, j \in V \quad (18)$$

Aquest model té l'avantatge que el dimensionament de la flota i l'elecció dels models de vehicles que cal utilitzar en aquesta són decisions integrades en el disseny de les rutes. La funció objectiu (11) no solament pretén minimitzar

els costos totals de transport, sinó també el nombre de vehicles totals que surten del punt inicial i els costos fixos anuals que tenen tots els vehicles. Les restriccions (12) i (13) defineixen el tipus de variables. Les restriccions (14) i (15) asseguren que cada client (node) es visiti exactament una vegada i que, si un vehicle visita un client, ha de partir d'aquest. La restricció (16) imposa el nombre màxim de vehicles de cada tipus que es pot utilitzar. La restricció (17) defineix el flux de mercaderies (la diferència entre la quantitat de mercaderia que un vehicle porta quan entra en un node i la que porta quan surt ha de ser exactament igual a la demanda d'aquest node). Finalment, la restricció (18) assegura que mai no es sobrepassarà la capacitat màxima del vehicle.

Aquest és un problema extremadament difícil de resoldre computacionalment, per la qual cosa s'han desenvolupat múltiples procediments heurístics i metaheurístics per a la seva resolució ràpida. Es pot consultar un breu estat de l'art dels problemes d'enrutament de vehicles amb una flota heterogènia en la secció 2 de Bielli *et al.* (2011).

#### Referència bibliogràfica

Bielli, M., Bielli, A., & Rossi, R. (2011). «Trends in Models and Algorithms for Fleet Management». A: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (núm. 20, pàg. 4–18).

### 3. Gestió de flotes

Després del dimensionament de la flota, apareixen molts altres problemes relacionats amb la gestió de les flotes, que és un enfocament administratiu que permet a les empreses organitzar i coordinar els vehicles de treball amb l'objectiu de millorar l'eficiència de la flota, reduir els costos i complir amb les regulacions governamentals.

Atès que la gestió de les flotes inclou una multitud de problemàtiques diferents, les seccions següents presenten cadascuna d'aquestes, juntament amb algunes recomanacions o mecanismes per a la seva resolució.

#### 3.1. Seguiment de vehicles

El seguiment de vehicles és un dels components més bàsics de la major part de programari per a la gestió de les flotes. El sistema de seguiment dels vehicles normalment combina la localització dels vehicles individualment, amb un programari que agrupa totes aquestes dades per al seguiment correcte de tota la flota.

Avui, en la majoria dels casos, aquests sistemes funcionen mitjançant un GPS o la tecnologia GLONASS (el sistema global de navegació per satèl·lit administrat per la Federació Russa) per a la localització del vehicle. Típicament, s'utilitza un programari de seguiment per integrar a aquestes dades de localització amb una altra informació rellevant per a la gestió de la flota.

El programari per al seguiment de vehicles és àmpliament utilitzat per operadors de flotes per a seguir-les, comprovar el compliment de les rutes i els horaris, decidir quan ha de sortir el vehicle següent o donar informació als usuaris sobre quan arribarà el vehicle (per exemple, per al lliurament de paqueteria o per al transport públic). A més, molts d'aquests sistemes poden monitoritzar informació sobre el consum de combustible, la velocitat, el conductor, i també algunes eines de diagnòstic que permeten conèixer l'estat del vehicle. També són sistemes que s'utilitzen per a la prevenció del robatori dels vehicles.

Per exemple, TRACCAR és un programari de codi obert que permet el seguiment de vehicles. Aquest programari es compon d'un programari que rep, emmagatzema i analitza les dades de seguiment dels vehicles i una aplicació mòbil que permet la recollida de dades del telèfon mòbil per a obtenir la ubicació i la velocitat del dispositiu. A més de permetre el seguiment dels vehicles en temps real (vegeu seguiment actiu en la secció següent), el servidor pot enviar alertes tant al conductor com a la central, per exemple en cas de comportament extrem del conductor, com ara sobrepassar el límit de velocitat, avisos de manteniment o d'escassetat de combustible.

### 3.1.1. Seguiment passiu contra actiu

El seguiment de vehicles es pot classificar entre seguiment actiu i seguiment passiu, amb una tendència a l'alça cap als sistemes de seguiment actiu o mixts.

En un sistema de seguiment passiu, les dades de la localització, velocitat, direcció, etc., s'emmagatzemen en el dispositiu de seguiment i es descarreguen quan s'arriba al punt de partida per a la seva anàlisi i avaluació. Per contra, un sistema de seguiment actiu emmagatzema les mateixes dades però les envia, en temps quasi-real mitjançant xarxes sense fils de telefonia mòbil o de comunicació per satèl·lit, al servidor que les analitzarà.

Avui hi ha molts sistemes que apliquen un seguiment mixt que envia les dades en temps real mentre una xarxa està disponible. Quan no hi ha una xarxa disponible, emmagatzema les dades en la memòria interna del dispositiu de seguiment per a enviar-les quan es pugui tenir accés a aquesta.

## 3.2. Gestió de conductors

La gestió dels conductors inclou diverses problemàtiques que apareixen en el control i la gestió de flotes. Es pot referir a problemes bàsics com ara l'assignació de rutes als conductors, i també a sistemes que gestionen els costos relacionats amb els conductors (per exemple, multes o peatges). La majoria del programari existent per a la gestió dels conductors té dos components bàsics clau, (1) d'una banda, la recollida de les dades dels conductors; i (2) l'assignació de vehicles als conductors, per a assegurar el control de qui està utilitzant els equips i comprovar quins conductors estan lliures a cada moment.

A més d'aquestes funcions bàsiques, altres funcions que es poden implementar en el programari de gestió dels conductors són les següents:

- Gestionar costos relacionats amb els conductors (per exemple, consum de combustible, multes i peatges).
- Aglomerar dades sobre accidents i infraccions de tràfic, per a implementar mesures correctives, assignar programes de formació, etc.
- Aglomerar dades sobre el compliment legal dels requisits dels conductors (per exemple, revisions mèdiques, renovacions de carnet, assegurances, etc.).
- Obrir un canal de comunicació, sia entre els conductors o entre els conductors i la central.

En la majoria de casos, el programari de gestió dels conductors està integrat dins un paquet de programari de gestió de les flotes que també inclou el seguiment dels vehicles, la gestió d'horaris, etc.

### 3.3. Compliment d'horaris i control

Com avançàvem en la secció anterior, molts paquets de programari de gestió de rutes inclouen mòduls per al disseny dels horaris, i també el control del seu compliment.

L'assignació d'horaris és un problema molt relacionat amb l'enrutament de vehicles amb finestres temporals, que s'ha estudiat en el mòdul de «Disseny de Rutes».

A més d'assignar els horaris als diferents conductors i a les rutes, també s'ha de tenir en compte el control del compliment d'aquests horaris. Això requerirà un seguiment actiu dels vehicles mobilitzats que permeti conèixer en temps real l'estat dels lliuraments assignats al vehicle, és a dir, si aquest va a temps, si s'avança o es retarda, o si ha tingut un incident i no pot realitzar el lliurament (vegeu la secció següent per a més informació sobre la gestió dels retards i incidents).

Avui, algunes de les funcions integrades al programari de gestió de les flotes per al compliment dels horaris permeten, a més, la comunicació amb el client, per a mantenir-lo informat del temps estimat d'arribada o si hi ha hagut algun retard en el seu lliurament o recollida.

### 3.4. Gestió de retards i incidents

Les rutes i els horaris que s'hagin dissenyat inicialment poden ser molt eficients i minimitzar els costos operatius, però quan es gestiona una flota de vehicles cal preparar-se per a retards i incidents que obliguin a modificar les rutes establertes. En els casos més lleus, el retard pot ser assumible i pot tenir costos mínims, però en casos més greus és possible que s'hagin d'assignar els lliuraments o punts sense visitar d'una ruta a un altre vehicle, ja que la ruta original no es pot completar.

És en aquests casos en què apareix el problema de reassignació d'horaris en vehicles amb un sol punt de partida. Aquest problema considera una sèrie de rutes definides que parteixen d'un mateix punt inicial, on es donen els temps de viatge entre totes les localitzacions, però ocorre un incident en què un dels vehicles resulta inoperable i la ruta es veu interrompuda. El que pretenem és modificar les rutes existents de la manera més eficient possible perquè (1) tots els vehicles realitzin rutes factibles, i (2) tota la demanda se serveixi malgrat la interrupció.

#### Vegeu també

Podeu veure l'apartat 3.3.2, «Problemes amb finestres temporals», del mòdul «Disseny de Rutes».

El problema de reassignació d'horaris en vehicles amb un sol punt de partida (SDVRP, per les seves sigles en anglès, *single depot vehicle rescheduling problem*) es pot definir amb el model següent: també suposem un graf  $G$ , format per un conjunt de nodes (ciutats)  $N$  i un conjunt d'arcs  $A$ .  $X(k)$  són totes les rutes dissenyades inicialment (amb la resolució del problema d'enrutament corresponent), on  $(1 \leq k \leq K)$  per als  $K$  vehicles de la flota.  $C_{ij}$  és el cost de l'arc  $(i, j)$ .  $D_k$  és el cost del retard i correspon al cost que implicaria que el vehicle  $k$  fos el que substituís el vehicle accidentat en la seva ruta (o el que quedi pendent d'aquesta).  $Y_{ij}$  és una variable binària que té valor 1 si un vehicle està assignat al camí  $(i, j)$  i 0 en cas contrari.

Així, el model del problema de reassignació d'horaris en vehicles amb un sol punt de partida queda definit per la funció objectiu (19) i les restriccions (20), (21) i (22):

$$\min_G \left( \min \sum_{(i,j) \in X(k)} C_{ij} \cdot Y_{ij} + D_k \right) \quad (19)$$

Subjecte a

$$\sum_{j \in X(k)} Y_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (20)$$

$$\sum_{i \in X(k)} Y_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (21)$$

$$Y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i, j \in N \quad (22)$$

Per tant, el problema de reassignació d'horaris es defineix com la minimització de diversos problemes d'assignació d'horaris, corresponent cadascun a una ruta factible. La funció objectiu (19) minimitza, per a tot el graf (i, per tant, per a totes les rutes de substitució possibles) el cost operatiu del transport, més el cost del retard. Les restriccions (20) i (21) simplement asseguren que cada arc tingui exactament un predecessor i un successor (és a dir, per a visitar qualsevol node que hagi quedat sense servei, haig de viatjar a aquest per un camí connex d'altres nodes). Finalment, la restricció (22) defineix la tipologia de les variables.

### 3.5. Cicle de vida i manteniment

Una flota de vehicles genera costos (i beneficis) durant tot el seu cicle de vida, des de la seva adquisició fins al seu reemplaçament. Una visió clara dels costos associats a cada vehicle durant el seu cicle de vida permetrà decisions millors quant al seu manteniment, compra o reemplaçament. En la figura 1, s'observa el punt de reemplaçament del vehicle, que és el punt en què els costos totals coincideixen amb el cost mitjà anual (i, a partir d'aquest punt, els costos totals

són més alts que el cost mitjà anual). El cost total es calcula com la depreciació més els costos de manteniment, mentre que el cost mitjà anual es calcula com la depreciació acumulada més el cost de manteniment acumulat des de la compra del vehicle, tots dos dividits entre el nombre d'anys des de l'adquisició del vehicle.

Durant els primers anys de cycle de vida (el temps exacte variarà depenent del model i tipus de vehicle), els costos de manteniment seran molt menors que el cost de reemplaçament, per la qual cosa serà essencial el disseny i la implementació d'una política de manteniment preventiu.

Les polítiques de manteniment preventiu s'han d'implantar tan aviat com sigui possible, ja que impliquen estalvis en reparacions, optimitzen el valor de revenda del vehicle i eviten despeses inesperades en incidents fàcilment evitables. Atès que els estalvis que suposa un bon programa de manteniment no són costos visibles, sinó que són, en molts casos, costos d'oportunitat, són difícils de mesurar. No per això la inversió resulta menys rendible quan es tracta del manteniment dels vehicles de la flota.

És important que les polítiques de manteniment incloguin pneumàtics, vidres i assistència en carretera, i també que tinguin en compte qualsevol manteniment que estigui inclòs per la garantia del fabricant del vehicle. És per això que la política de manteniment ha de ser diferent per a cada tipus de vehicle segons el seu model i, també, segons la seva edat. Per a vehicles molt antics, la garantia dels quals ja no cobreix una gran part de les reparacions, és possible que els seus costos de manteniment elevats facin preferible la liquidació del vehicle pel seu valor residual i l'adquisició d'un altre de nou.

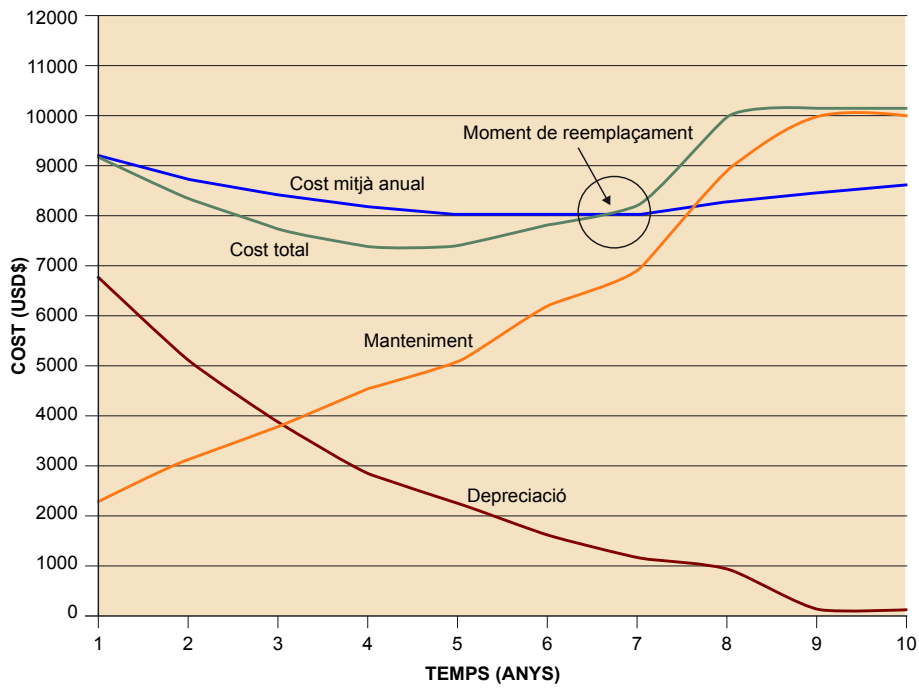
La política de manteniment no solament s'ha de conèixer, implantar i complir per part del supervisor o encarregat de la flota, sinó que resulta essencial que els conductors coneguin aquestes polítiques, les seves responsabilitats envers aquestes i els protocols existents en cas que es produeixi un incident o un vehicle requereixi reparacions. És vital que els conductors tinguin un canal per a comunicar immediatament qualsevol problema amb el vehicle i es recomana una formació específica perquè els conductors puguin supervisar el funcionament d'algunes de les funcions del vehicle.

Un estudi més en profunditat sobre el cycle de vida i manteniment de les flotes de vehicles es pot consultar a Bauset *et al.* (2002). Així mateix, la figura 1 mostra un exemple del cycle de vida d'un vehicle a Mèxic (Morales, 2004).

#### Lectura recomanada

Bauset, S. B., Olmeda González, P., Macián Martínez, V., & Tormos Martínez, B. (2002). «El mantenimiento de las flotas de transporte». A: *Técnica Industrial* (pàg. 42–47).

Figura 1. Gràfica d'exemple del cicle de vida d'un vehicle per a determinar el moment de reemplaçament.



Font: Morales *et al.* (2004).



## Bibliografia

- Bauset, S. B., Olmeda González, P., Macián Martínez, V., & Tormos Martínez, B.** (2002). «El mantenimiento de las flotas de transporte». A: *Técnica Industrial* (pàg. 42–47).
- Bielli, M., Bielli, A., & Rossi, R.** (2011). «Trends in Models and Algorithms for Fleet Management». A: *Procedia - Social and Behavioral Sciences* (núm. 20, pàg. 4–18).
- Cordeau, J. F., Laporte, G., Savelsbergh, M. W. P., & Vigo, D.** (2007). «Vehicle Routing». A: *Handbooks in Operations Research and Management Science* (vol. 14, pàg. 367–428). Elsevier.
- Corman, F., D'Ariano, A., Marra, A. D., Pacciarelli, D., & Samà, M.** (2017). «Integrating Train Scheduling and Delay Management in Real-time Railway Traffic Control». A: *Transportation Research Part I: Logistics and Transportation Review* (núm. 105, pàg. 213–239).
- Dolvoet, T., Huisman, D., Schmidt, M., & Schöbel, A.** (2012). «Delay Management with Rerouting of Passengers». A: *Transportation Science* (núm. 46, vol. 1, pàg. 74–89).
- Fagerberg, J.** (2013). «Fleet Management in Europe». A: *M2M Research Series*.
- Golden, B., Raghavan, S., & Wasil, E.** (2008). «The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges». A: *Operations Research/ Computer Science Interfaces Series* (núm. 43).
- Morales, R., & Mercedes, Y.** (2004). «Métodos para la renovación de vehículos de auto-transporte de servicio pesado». (núm. 78, vol. 260).
- Pariskh, S. C.** (1977). «On a Fleet Sizing and Allocation Problem». A: *Management Science*, (núm. 23, vol. 9, pàg. 972–977).

