



Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i
Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

IMPACTE DE LA TOPOLOGIA DE XARXA EN ELS COSTOS DE HANDLING

TÍTOL DEL TFG: Impacte de la topologia de xarxa en els costos de Handling

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria en Sistemes Aeroespacials

AUTOR: Marc Garnacho Franquesa

DIRECTOR: Hector Fornés Martínez

DATA: 3 de febrer de 2021

Resum

Aquest projecte vol presentar una metodologia i un indicador que permeti a les àrees de planificació de xarxa i planificació d'operacions terra construir xarxes eficients pel que fa a serveis de handling, d'una manera senzilla.

La metodologia i l'indicador que s'estableixen permeten relacionar la gestió de recursos a l'aeroport amb la planificació de xarxes de vols. Aquest indicador està dissenyat de tal manera que per obtenir-lo es necessiten únicament les dades de les xarxes de vols, fet que permet que el mateix equip de planificació sigui capaç de fer-ho. Aquest indicador pot ser utilitzat per totes aquelles companyies aèries que disposin de servei d'auto-handling, per tant, que ells mateixos es gestionin aquests serveis. Aquest indicador requereix un procediment de realització marcat per tres passos que s'han de seguir.

Primerament, s'han d'idear diferents xarxes de vols amb diferents propostes horàries, de rutes, etc. Cada xarxa tindrà el seu propi indicador de Handling Efficiency.

Seguidament, a partir de les xarxes de vols, es creen unes corbes de distribució de vols de cada un dels aeroports durant el temps d'estudi. Aquests corbes permeten obtenir les diferents dades necessàries per l'obtenció de l'indicador.

Finalment, amb les dades obtingudes, que són el TAT (Turn Around Time) mitjà, l'estacionalitat horària, la desviació horària, el número de vols i la curtosi; es pot procedir a l'obtenció i anàlisi de l'indicador de Handling Efficiency.

L'anàlisi del Handling Efficiency permet calcular, no només l'eficiència dels serveis de handling, sinó també els costos associats a aquests serveis. D'aquesta forma es pot obtenir els costos relatius a cada una de les eficiències. A més, l'indicador es pot utilitzar de forma comparativa entre xarxes, podent determinar així quina és més eficient i quin estalvi de costos comporta.

Overview

In this project it is pretend to stablish a methodology and an indicator that allows the network planning and the ground operations planning to obtain efficient networks in terms of handling, on an easy way.

This methodology and this indicator allow to make an union between the airport resources management and the network planification. This indicator is designed to be obtained by using only the network planning data, this allows that the same network agents can compute that value. This indicator is designed to be used by low-cost airlines that have auto-handling service, that means that they manage the services by themselves. This indicator requires a procedure of three steps.

First, different flight networks with different timings, routes, etc. Each network is going to have its own value of Handling Efficiency.

Next, from this flight networks, different graphics of flights distribution are created. This graphics are done for each airport during the study period. From this graphics, it is obtained all the necessary data to compute the Handling Efficiency value.

Finally, with these data, which are the mean TAT (Turn Around Time), hour stationarity, hour deviation, number of flights and kurtosis; it is possible to proceed at the obtention and analysis of the indicator Handling Efficiency.

The Handling Efficiency analysis allows to calculate, not only the handling efficiency itself, it allows to calculate also the costs associated at this service. With that, it is possible to obtain the costs associated at those efficiencies. Also, the Handling Efficiency indicator can be used in a comparative way between different nets, determining which of it is more efficient.

Índex

Introducció.....	1
Capítol 1. Descripció del problema.....	3
Capítol 2. Conceptes teòrics	6
2.1. Estàndards.....	6
2.2. Corbes del model	7
2.3. Mètode d'optimització	9
2.4. Mètode de regressió lineal	11
2.4.1. Mètode de regressió lineal simple.....	11
2.4.2. Mètode de regressió lineal amb múltiples variables	12
Capítol 3. Cas d'estudi.....	13
3.1. Obtenció de dades	13
3.2. Rotacions.....	13
3.3. Necessitats	14
3.3.1. Arribades	15
3.3.2. Sortides	15
3.3.3. Enllaçats	16
3.4. Resultats de l'optimització per un aeroport.....	16
3.4.1. Necessitats per a cada servei i totals	16
3.4.2. Hores treballades per a cada servei i totals	17
3.4.3. Ineficiències per a cada servei i totals	18
3.4.4. Número de vols	19
3.4.5. TAT mínim	19
3.4.6. TAT mitjà	19
3.4.7. Distància entre TAT mínim i TAT mitjà	19
3.4.8. Percentatge de vols enllaçats.....	19
3.4.9. Desviació horària	20
3.4.10. Estacionalitat horària (<i>intra-day</i>).....	21
3.4.11. Curtosi	21
3.5. Resultats de l'optimització per xarxa	22
3.6. Estudis de regressió lineal.....	23
3.7. Problemàtiques	24
Capítol 4. Resultats de l'estudi	25
4.1. Resultats de l'estudi de regressió lineal.....	25
4.1.1. Estiu	25

4.1.2. Hivern.....	27
4.1.3. Comparació	28
4.2. Definició de l'indicador de Handling Efficiency	29
4.2.1. Anàlisi de les variables	29
4.2.2. Definició de l'indicador	32
4.2.3. Implementació de l'indicador.....	33
4.3. Aplicació de l'indicador de Handling Efficiency.....	35
4.3.1. Creació de xarxes	35
4.3.2. Obtenció de les corbes de distribució	37
4.3.3. Càlcul del Handling Efficiency	40
Capítol 5. Conclusions.....	43
Capítol 6. Propers passos	45

Introducció

L'objectiu d'aquest projecte és presentar una metodologia i un indicador que permeti a les àrees de planificació de xarxa i planificació d'operacions terra construir xarxes eficients pel que fa a serveis de handling. Per tant, aquest indicador ha de relacionar la gestió de serveis de l'aeroport amb la planificació de xarxes de vols per temporada a partir de dades reals de planificació de vols. En aquest document es mostra com s'ha plantejat aquest objectiu i el procediment que s'ha dut a terme per tal d'assolir-lo.

Tal i com es veu en el document, és possible plantejar un indicador que relacioni els serveis de gestió a l'aeroport amb la planificació de xarxes, fet que permet optimitzar serveis fins i tot abans que aquests s'hagin dissenyat. Un indicador d'aquestes característiques també permet identificar costos dels serveis i, per tant, fer comparacions entre diferents propostes que s'estiguin estudiant. És per tant, un factor més a tenir en compte per poder determinar quina de les xarxes que es proposen a planificació és més rendible.

Cal destacar també que actualment és un bon moment per realitzar canvis i idear noves estratègies de disseny i planificació.. Amb aquest indicador es podria establir un nou sistema de disseny que permetés reduir costos i per tant poder realitzar més inversió o reduir preus per als passatgers. Una reducció de preus encertada i que no suposés un desavantatge per les mateixes aerolínies podria suposar una recuperació més ràpida del sector aeronàutic.

Per tal de mostrar el procés d'obtenció de l'indicador així com totes les consideracions que s'han tingut en compte, el treball s'ha dividit en 6 capítols clarament diferenciats. Aquests capítols estan breument exposats a continuació.

Al primer capítol s'explica com funciona actualment el sistema de disseny de xarxes de vols per a cada una de les temporades en una aerolínia. A la vegada també s'introdueixen diversos conceptes teòrics que s'aniran repetint al llarg del projecte. Finalment es planteja l'objectiu amb més especificacions.

Al segon capítol s'exposen tots els conceptes teòrics necessaris per la comprensió i realització del projecte. Per tal de fer-ho s'ha utilitzat material gràfic per fer més amena i entenedora la lectura. Aquests conceptes inclouen funcionaments propis de les companyies aèries, així com mètodes matemàtics. Dins dels funcionaments propis de les aerolínies s'explica com funcionen aquestes a través d'un exemple. Per als models matemàtics es fa una explicació teòrica del que es considera més important per la realització del projecte.

Al tercer episodi s'explica l'aplicació de tots els conceptes teòrics exposats al capítol dos. El capítol està organitzat pas per pas tal i com es va procedir per poder dur-lo a terme. Així doncs primer s'explica 'obtenció de dades, seguit de les limitacions del sistema i posteriorment l'aplicació dels mètodes matemàtics.

Al quart capítol es mostren els resultats de l'estudi. Aquest capítol és el més extens i està dividit en tres parts clarament diferenciades. La primera d'elles és l'exposició del resultat dels mètodes matemàtics i la seva interpretació.

Seguidament, la creació de l'indicador a partir dels resultats obtinguts. Finalment es mostra un extens exemple on s'aplica aquest indicador.

Al cinquè capítol es mostren les conclusions extretes de la realització d'aquest estudi. Aquestes són una recopilació de tots els resultats, així com un reforç i justificació cap a aquests.

Finalment, el sisè episodi estableix els següents passos necessaris a seguir per a poder aplicar el resultat a una companyia.

És important remarcar que per tal de mostrar diferents passos del projecte o els mateixos resultats s'ha treballat amb un exemple. En aquest cas s'ha escollit treballar amb l'aeroport de Madrid. Es considera que l'aeroport de Madrid és un bon aeroport per analitzar, ja que no és un dels principals, però tampoc un excessivament petit; es considera per tant, un aeroport mitjà, amb entre 20 i 30 vols al dia per temporada. Per aquest motiu a partir del capítol tres, la gran majoria d'exemples o mostres gràfiques són referents a Madrid.

Finalment, aclarir que en aquest document s'utilitzaran anglicismes per referir-se a diferents conceptes. Aquests anglicismes s'utilitzen ja que en general, en el món aeronàutic s'utilitzen en anglès. És cert que existeixen les seves traduccions, però aquestes no s'utilitzen. Els anglicismes que s'utilitzen són els que es mostren a continuació:

- Handling: Agents de terra
- Boarding: Embarcament
- Check-in: Facturació
- Baggage loader: Càrrega de maletes
- Baggage sorter: Distribució de maletes
- Baggage transporter: Transport de maletes
- Pushback: Remolcador
- Dispatcher: Coordinador
- Handling Efficiency: Eficiència de Handling

Capítol 1. Descripció del problema

L'estudi que es presenta a continuació pretén afrontar un tema que fins ara la majoria de companyies no han tingut en compte. Es tracta de l'optimització de recursos d'agents de terra (agents Handling) durant el procés de planificació. Per tal d'entendre el problema, primerament s'ha d'explicar com funcionen actualment les companyies. Les companyies actualment funcionen de forma lineal, és a dir, un cop acabat un pas es passa al següent. Aquest funcionament es pot veure visualment amb el gràfic següent:

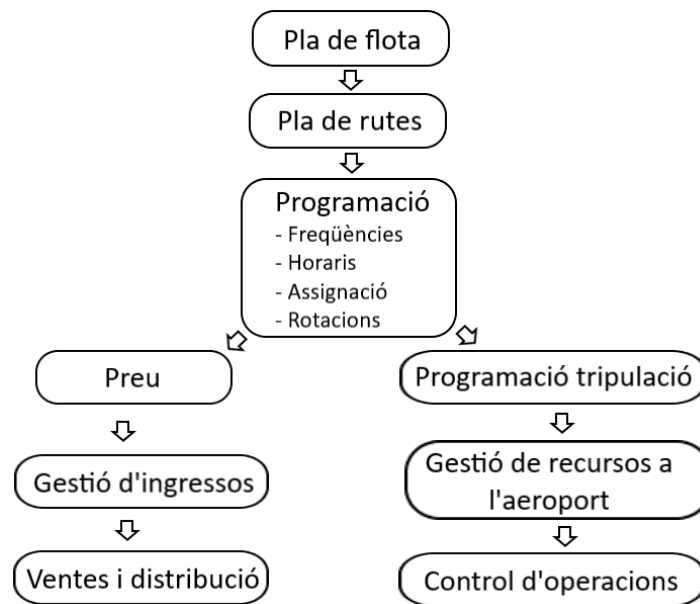


Fig. 1.1 Procés de planificació actual de les companyies [1]

És important explicar amb detall cada un dels passos que es tenen en compte a l'hora de programar xarxes de vols.

Primerament, es troba el pla de flota. En aquest punt s'avalua la flota de la que disposa la companyia i la possibilitat d'augmentar-la o disminuir-la. La mida de la flota determina la quantitat de vols que es poden dur a terme.

Seguidament s'estableix un pla de rutes. Un cop es té definida la flota, es pot determinar a quines destinacions interessa volar a la companyia. En aquest punt es determina quins aeroports interessa volar i amb quins horaris i freqüències aproximats interessa.

Un cop establerta una primera idea de les rutes i tenint en compte la flota de la que es disposa es pot procedir a la programació. En aquest punt és on es determinen les rutes amb horaris i freqüències concretes. Amb les dades de rutes, es fa una distribució de vols per freqüències i horaris. A partir d'aquests horaris i freqüències es crea un model de rotacions i s'assignen els avions de la flota a aquestes rotacions.

A partir d'aquest punt es passa a treballar dues branques en paral·lel. Al no estar directament relacionades, no interactuen entre ells, però si que depenen dels procediments anteriors.

La de l'esquerra de la imatge és la branca client. Aquesta branca determina preus i gestió d'ingressos per tal de determinar possibles ofertes i preus definitius. Un cop això es decideix, es procedeix a posar a la venda i a distribuir els bitllets d'avió.

La branca de la dreta és la de la gestió de vols. Aquesta branca serveix per determinar els recursos que afecten al dia a dia dels vols. Consta de diferents pats.

- 1) La programació de tripulació: Es determina els diferents torns de les tripulacions tenint en compte les limitacions pròpies. En general, una mateixa tripulació pot efectuar diferents vols, normalment d'un mateix avió.
- 2) Gestió de recursos a l'aeroport: En aquest punt és on s'administren els recursos de Handling, que són tots els recursos necessaris per assistir una aeronau a terra. Aquests recursos són entre d'altres:
 - Boarding: Són tots els treballadors que ajuden als clients a embarcar a l'avió. Les tasques principals són la comprovació de bitllet i identitat.
 - Dispatcher: Són els treballadors que coordinen les arribades i sortides dels avions, així com la càrrega que porten (paquets o clients), quantitat de combustible, horari de sortida, etc.
 - Check-in: Són els treballadors que es troben als taulells de facturació. La seva tasca principal és emetre bitllets i facturar maletes.
 - Baggage sorters: Són els treballadors que reben totes les maletes dels taulells de facturació o avions i les distribueixen per portar als avions corresponents.
 - Baggage transporters: Són els treballadors encarregats de transportar les maletes des del centre de distribució fins a l'avió corresponent o viceversa.
 - Baggage loaders: Són els treballadors encarregats de carregar les maletes a la bodega de l'avió
 - Pushback: Són els treballadors encarregats d'empènyer l'avió enrere a l'hora de separar-se de la terminal per procedir a l'enlairament.
- 3) Control d'operacions: En aquest punt es controla les operacions que es duen a terme al moment dia a dia. Monitoritzen tot el que passa a l'aeroport i detecten i solucionen problemes o incidències.

Tal i com es pot observar, el sistema és bàsicament lineal, no existeix cap relació o retroalimentació amb elements anteriors en el procés. Per tant, si s'optimitzen els agents de terra, es parlaria d'optimitzar la gestió dels recursos a l'aeroport, un pas ja casi final. És per això que optimitzar els agents de terra sense que això tingui cap afecció a la programació de vols és molt poc útil. Així que es pretén idear una optimització d'aquesta gestió i que aquesta pugui arribar a tenir incidència a la programació de vols, és a dir, idear un indicador que permeti la retroalimentació en el procés.

Fins el moment s'assumeix que qui controla i monitoritza als agents de terra és el control d'operacions, els que en el procés van just després d'ells. Per tant, l'optimització de recursos es faria a partir de tota la programació ja tancada. Es pot considerar que això és el que passa actualment, s'optimitzen els torns d'aquests treballadors sense que això afecti a res anterior.

Actualment, la gran optimització es realitza a l'hora de programar rutes, on es dissenya la quantitat i horaris de vols per tal de minimitzar costos i, a l'hora, maximitzar l'oferta per a clients potencials. Aquesta optimització és amb la que s'obté més beneficis i aprofitament de ruta, tot i això, encara queden opcions per reduir els costos actuals. Una d'aquestes opcions és l'optimització de la gestió de recursos a l'aeroport i que això permeti canviar o variar la programació de vols. Concretament el que es busca és actualitzar l'esquema anterior (Fig 1.1.) de la següent manera:

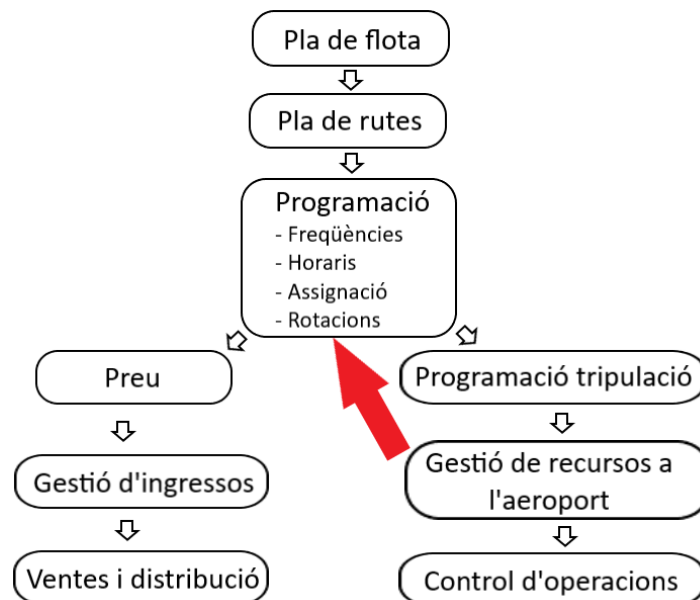


Fig 1.2. Proposta de procés de planificació de les companyies

Quan es parla d'optimització el primer en el que es pensa és una optimització que busqui minimitzar unes variables concretes. Per aquest cas concret, utilitzar aquest tipus d'optimització crearia una complexitat innecessària i que, molt possiblement, allargaria exageradament tot el procés, per aquest motiu, es vol crear un indicador (un valor) que permeti identificar si la xarxa està ben optimitzada, des del punt de vista de la gestió de recursos d'aeroport, o no.

Cal destacar també, que un estudi com aquest, en aquests moments, té un valor afegit. Un indicador que permeti determinar el nivell d'eficiència de diferents rutes vol dir, al final, poder estalviar costos.

Capítol 2. Conceptes teòrics

En aquest apartat es detalla com es realitza l'optimització en si tenint en comptes diferents conceptes matemàtics i limitacions pròpies. Aquesta optimització es realitza amb les necessitats variables, aquelles que depenen dels vols. En cap cas es tenen en compte els serveis fixos com la seguretat, neteja, etc., ja que aquests no depenen de la quantitat de vols.

2.1. Estàndards

El primer que es troba necessari per entendre el servei de Handling és entendre com es comporten els diferents serveis anteriorment esmentats (Capítol 1, pàgina 4). Per tal de tenir-ne una visió més completa es diferencia entre arribades, sortides i vols enllaçats. A continuació es mostra una figura amb una descripció per cada un dels casos.

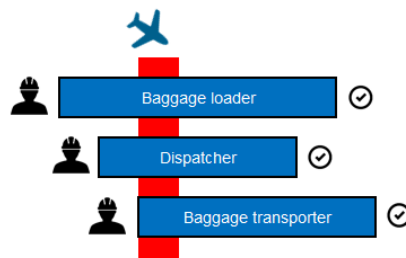


Fig. 2.1. Estàndards de servei per a les arribades

Com es pot observar en la figura 2.1., només són necessaris tres serveis de handling: dispatcher, baggage loaders i baggage transporters. Aquests serveis permeten l'aturada de l'avió, la descàrrega de les maletes i el transport d'aquestes fins les cintes de la terminal de l'aeroport.

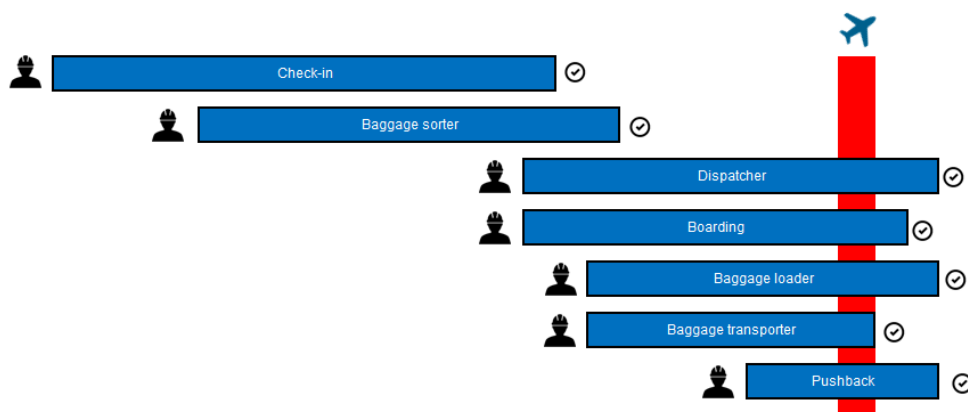


Fig 2.2. Estàndards de servei per a les sortides

Com es pot observar en la figura 2.1., tots els serveis de handling són necessaris per la sortida dels avions. Es pot veure que el check-in és el primer servei que comença, degut a que és el servei del que depenen la majoria dels següents. També és destacable que molts serveis acaben més tard de l'arrancada de l'avió, aquest fet es deu a que es deixa preparada la plataforma pel següent avió que arribi i, també, contempen possibles retards.

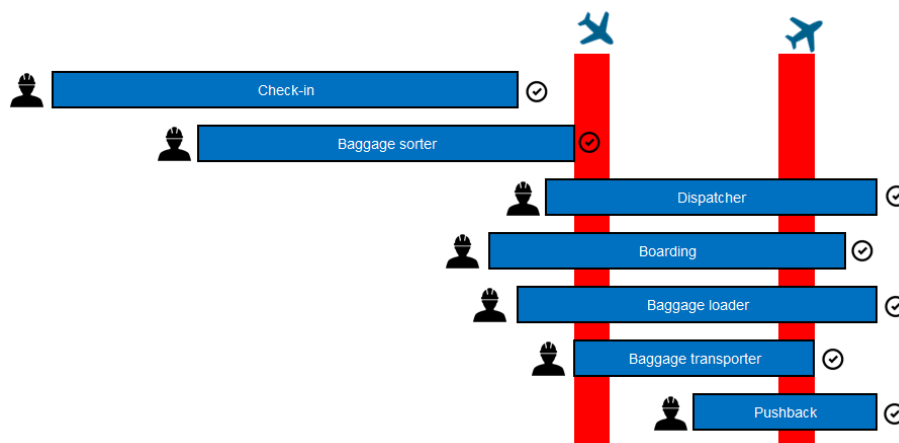


Fig. 2.3. Estàndards de servei per a vols enllaçats

Finalment, l'últim cas que es mostra és el cas de vols enllaçats, tal i com es veu a la figura 2.3.. Per considerar un vol enllaçat o no es determina un temps màxim d'estada a terra i si aquest temps no se supera, el vol es considera enllaçat. Aquests vols tenen la característica que l'estada a terra és variable, pot ser estada mínima o estades més llargues.

2.2. Corbes del model

Per tal de poder atendre les necessitats de tots els vols, complint amb els estàndards prèviament establerts, les companyies aèries disposen d'equips de handling o contracten a empreses de serveis que aporten material i personal necessaris. Així doncs, a través dels horaris de vols establerts per les companyies i els estàndards, els encarregats de handling hauran de planificar el seu personal. Per aquesta raó, per cada departament es crea una corba de necessitats que haurà de ser coberta. Per poder mostrar més clarament com es creen aquestes corbes, a continuació s'exposa el procediment realitzat a través d'un exemple.

L'exemple parteix de 4 vols que tenen sortida a les 7:00, 7:05, 7:15 i 7:20; tal i com es pot veure a la següent imatge.

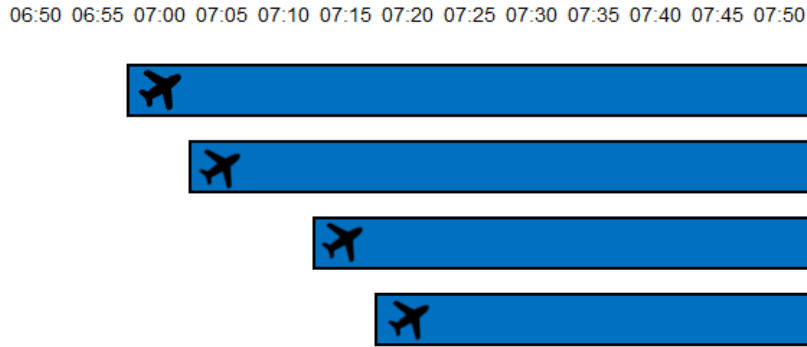


Fig. 2.4. Representació de la sortida dels 4 avions de l'exemple

A partir d'aquests vols, es creen unes corbes de necessitat, una per cada un dels departaments que conformen els serveis variables del handling. En aquest exemple només es mostra la corba per a un dels serveis, ja que en tots els casos seria similar, però desplaçat en el temps, depenent de la seva hora d'inici. Per tal d'exemplificar-ho s'escull fer-ho amb el servei de boarding.

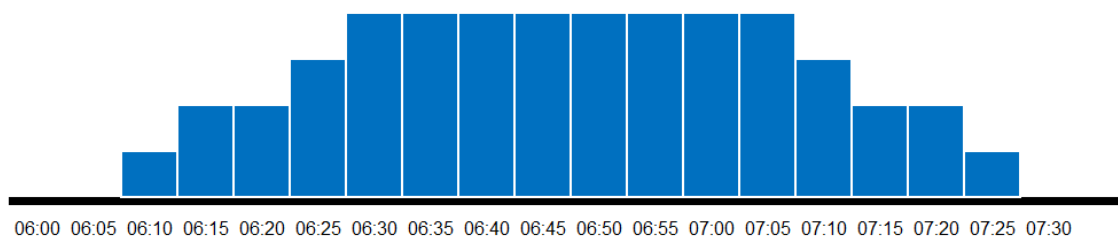


Fig 2.5. Corba de necessitats pel servei de boarding

Tal i com es mostra a l'anterior imatge, les necessitats comencen un temps abans de la sortida de l'avió, en aquest cas s'ha determinat 50 minuts; i tenen una duració de 60 minuts. Com que els vols no surten tots a la mateixa hora, els serveis per cada un tampoc començarà a la mateixa hora, és per això que es creen unes corbes de necessitats.

Un cop creades les corbes de necessitats, aquestes s'han de cobrir amb diferents treballadors. Per fer-ho es modelen dos tipus de restriccions horàries per al personal:

- 1) Jornada fixa: Consta d'una jornada completa la qual s'ha de complir. Aquestes jornades són del voltant de 40 hores setmanals.
- 2) Jornada flexible: Deguda la gran volatilitat del sector i tenint en compte que les necessitats seran molt variables segons la temporada que s'estudiï, existeixen els contractes flexibles, amb torns reduïts i variables, de manera que es poden cobrir pics amb més eficiència.

Utilitzant aquestes consideracions s'estableixen unes corbes d'inicis de jornada per tal de cobrir les necessitats. Cal remarcar que l'optimització (la qual s'explica detalladament en l'apartat 2.4.) treballa només inicis de jornada, per tant, la corba modelada, reflectirà tant sols aquests inicis de jornada.

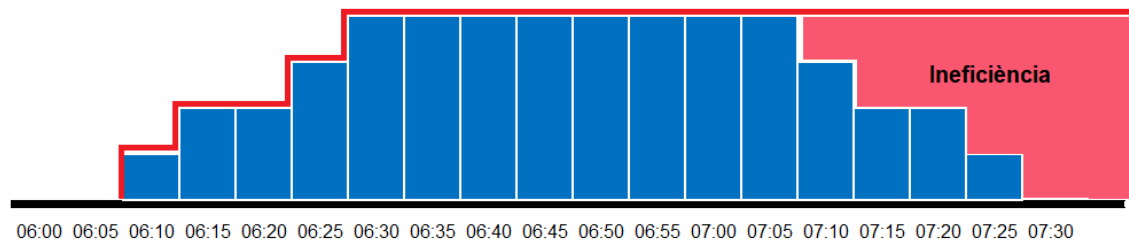


Fig 2.6. Corba de necessitats i torns del servei de boarding, incloent la ineficiència

2.3. Mètode d'optimització

Per poder crear els diferents torns, s'ha utilitzat una eina d'optimització basada en un exemple trobat al document "Modeling and Solving Linear Programming with R" [2]. Al capítol 3.7 es pot trobar un exemple on s'han de crear torns per a cobrir les demandes d'una central de trucades d'emergència. Aquest exemple s'ha considerat com la base per poder construir l'optimització que es realitza. En el cas d'aquest projecte, es vol estudiar un dia sencer en fraccions de 5 minuts, el número de fraccions o períodes que s'obté és el següent:

$$\text{Número de períodes} = \frac{60 (\text{minuts}) * 24 (\text{hores})}{5 (\text{minuts})} = 288 \text{ períodes} \quad (2.1)$$

Per a cada període de temps es tracten les següents variables enteres:

- y_i : Necessitats en el període i .
- x_i : Treballadors amb jornada fixa que s'incorporen en el període i .
- s_i : Treballadors amb jornada flexible que s'incorporen en el període i .

Seguidament, per saber durant quant de temps perduren els torns en el temps es creen tres variables temporals:

- ∂_1 : Número d'intervalos durant una jornada fixa.
- ∂_2 : Número d'intervalos durant una jornada flexible.
- ∂_T : Duració de cada període.

D'aquesta manera es creen dues desigualtats:

- 1) En primer lloc, el número de treballadors de jornada fixa ha de ser igual o superior a un prèviament establert.

$$\sum_{i=0}^{i=288} x_i \geq \text{Llindar per a jornada fixa} \quad (2.2)$$

- 2) Seguidament, per tal d'assegurar-se que es cobreixen les necessitats a cada període, s'estableix la següent desigualtat.

$$x_{i-\theta_1} + x_{i-\theta_1-1} + \dots + x_i + s_{i-\theta_2} + s_{i-\theta_2-1} + s_i \geq y_i \quad (2.3)$$

A les corbes de necessitats es poden produir pics de necessitats de molt curta durada, tal i com es veu a la figura 2.7.

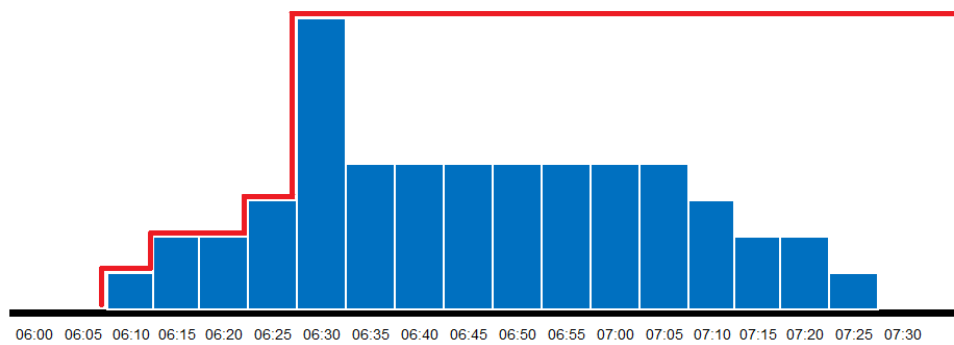


Fig 2.7. Exemple de pic de curta durada

Si els càlculs es realitzen com s'ha exposat fins al moment, amb molta probabilitat s'assignaria una quantitat de treballadors de més per a un pic curt de demanda. Aquest fet provocaria una ineficiència exageradament gran. És per això, que es decideix crear una variable de suavització per tal de reduir aquests pics. Aquesta suavització el que fa és directament obviar aquests pics. Això es mostra en la següent imatge:

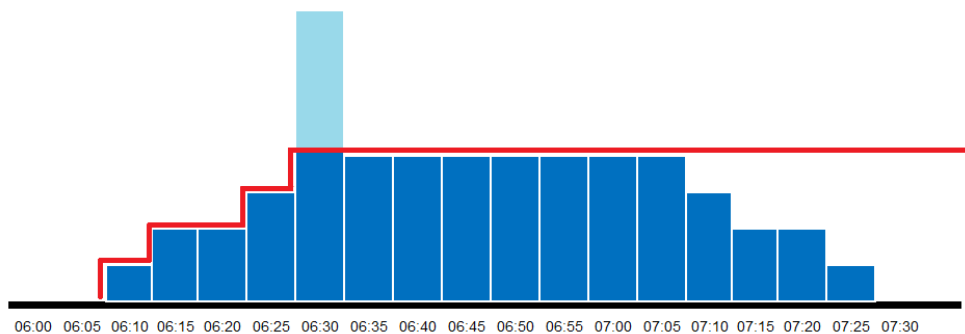


Fig 2.8. Exemple de suavització de pic de curta durada

Un cop aplicada la suavització, el programa procedeix a realitzar l'optimització, buscant minimitzar el número de treballadors, tant de jornada fixa com jornada flexible, que treballen durant tot el dia.

$$Z = \sum_{i=0}^{i=288} (x_i + s_i) \quad (2.4)$$

2.4. Mètode de regressió lineal

Un cop realitzat l'estudi d'optimització es pot procedir a l'estudi de regressió lineal. Aquest estudi es realitza amb les dades que s'obtenen de l'estudi d'optimització i que s'exposen en el capítol 3 detalladament.

2.4.1. Mètode de regressió lineal simple

El primer mètode de regressió que s'utilitza és el mètode de regressió lineal simple, també anomenat, correlació [3]. Aquest quantifica la relació que hi ha entre dues variables independents. La correlació es quantifica amb un número entre -1 i +1, sent -1 la correlació negativa perfecta, +1 la correlació positiva perfecta i 0 la no correlació.

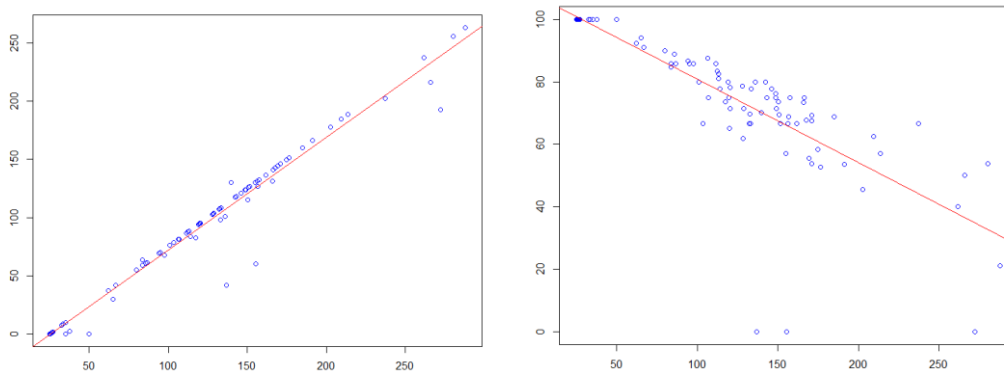


Fig 2.9. Exemples de correlació positiva (esquerra) i correlació negativa (dreta)

Per tal de realitzar aquestes correlacions existeixen diferents coeficients. En el cas de l'estudi s'ha utilitzat el coeficient de Pearson, ja que es treballa amb variables quantitatives.

Un cop obtinguts els resultats de les correlacions es pot veure d'una forma gràfica i d'una forma quantitativa la relació que hi ha entre dues variables.

2.4.2. Mètode de regressió lineal amb múltiples variables

A continuació s'exposa com es realitza un anàlisi de regressió lineal de múltiples variables [4]. Aquest mètode permet generar un model de comportament d'una variable que s'anomena variable dependent, a partir d'un conjunt de variables independents minimitzant l'error. Aquest mètode té dues possibles utilitats:

- 1) Predir el valor de la variable dependent
- 2) Avaluar l'influència que tenen les variables independents sobre la variable dependent.

En el cas d'aquest projecte concret el mètode de regressió lineal amb múltiples variables s'utilitzen totes dues possibilitats. Per tal d'interpretar el resultat del mètode s'han de tenir en compte les següents consideracions:

- R^2 : El coeficient R^2 determina la relació que hi ha entre el conjunt de variables independents i la variable dependent. Aquest coeficient està comprès entre 0 i 1. Per tal que el model es consideri vàlid, el coeficient de R^2 ha de ser elevat. Es considera elevat a partir de 0.75, tot i que el que es busca en aquest estudi és un coeficient superior a 0.9.
- p-valor: El valor ha de ser inferior al 5% (0.05).

Si aquestes consideracions es compleixen, l'estudi es considera bo i es pot analitzar el resultat. El resultat s'interpreta observant dos dels valors, el $\Pr(>|t|)$ i el valor Estimat.

El primer valor, $\Pr(>|t|)$, permet saber com de forta és la relació entre la variable dependent i la variable independent. Com més petit sigui el valor, més gran serà la correlació.

Per altra banda, el valor Estimat permet saber com variaria la variable dependent si es modifiqués aquesta variable independent. Aquest valor només té sentit si l'anterior és significatiu. En cas que ho sigui, es diferencien dos tipus:

- Valors positius: Si la variable independent augmenta, la dependent també.
- Valors negatius: Si la variable independent augmenta, la dependent disminueix.

Capítol 3. Cas d'estudi

En aquest capítol es procedeix a explicar el cas d'estudi concret. Aquest estudi, es podria realitzar amb dades de qualsevol companyia aèria de , s'ha escollit realitzar-lo amb la companyia Ryanair, ja que és una aerolínia de grans dimensions de la què es disposen dades operatives.

3.1. Obtenció de dades

Per poder realitzar l'estudi es treballa amb dades de la companyia Ryanair extretes de la web pública FlightRadar24 [5]. En concret es disposaven de dades des del 20 de setembre de 2019 fins al 19 de setembre de 2020. Tal i com es pot veure per les dates, hi ha inclosa època pandèmica del SARS-CoV-2 (Coronavirus). Per poder realitzar un estudi més complet s'ha decidit treballar amb dades prèvies a l'arribada d'aquesta pandèmia. Concretament s'han estudiat dos dies, un dia de la temporada d'estiu i un altre de la temporada d'hivern.

El primer dia escollit és de la temporada d'estiu (entre març i octubre). Com que es disposaven de pocs dies dins d'aquestes dates es van comptabilitzar els vols de cada un dels dies per, finalment, seleccionar el dia amb més vols comptabilitzats. Per tal d'assegurar-se el bon funcionament del programa d'optimització i anàlisi es van agafar també el dia previ i posterior al de més vols. Seguint aquestes condicions es va determinar que els dies seleccionats serien el 28, 29 i 30 de setembre, sent el 29 el dia amb més vols comptabilitzats.

El segon dia escollit és un dia de la temporada d'hivern (entre octubre i març). Per poder triar un dia d'hivern sense possibilitat d'interferències COVID o per festes i possibles moviments per retrobaments familiars es va decidir escollir un dia de Novembre. Concretament el dia que va ser escollit va ser un dimecres amb poca quantitat de vols, el dia 13 de novembre de 2019. Igual que en el cas de l'estiu, per poder assegurar el correcte funcionament del programa d'anàlisi, es van seleccionar també el dia previ i el posterior al dia de l'anàlisi.

3.2. Rotacions

Un cop obtingudes les dades s'han de tractar per poder obtenir rotacions i realitzar l'estudi. Les rotacions són el conjunt de vols que realitza un avió durant un període de temps determinat. A la següent figura es mostra un exemple:

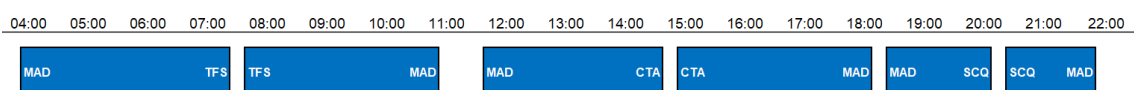


Fig 3.1. Rotacions de la base MAD (Madrid) el dia 29 de setembre de 2019

L'anterior figura correspon a la base de Madrid (MAD) on la fila correspon a una matrícula, es a dir, a un avió concret. Com es pot observar, cada una de les "caixes de colors" és un vol determinat amb hora de sortida i arribada; i aeroports d'origen i destí.

A partir d'aquesta figura i la seva descripció es determina que per tal de crear les rotacions es necessiten les següents dades per vol:

- Data del vol
- Matrícula de l'aeronau
- Número de vol
- Aeroport de sortida
- Hora programada de sortida en UTC
- Aeroport d'arribada
- Hora programada d'arribada en UTC

Un cop les dades estan tractades i corregides es pot procedir a crear les rotacions tal i com es mostren a la figura 3.1. És important treballar amb les dades en forma de rotacions ja que el que es pretén treballar no són els vols en si (interpretats per les caixes de color blau), sinó el temps que hi ha entre vol i vol el temps de terra. Aquest temps s'anomena Turn Around Time (TAT) i se'n mostra un exemple a continuació:

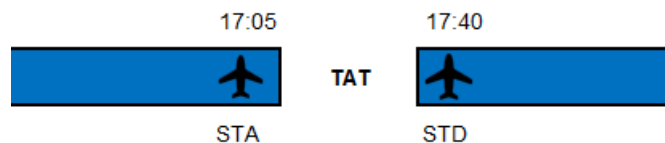


Fig 3.2. Visualització gràfica del TAT mínim a Madrid

El TAT és la relació entre l'hora programada d'arribada d'un vol i l'hora programada de sortida del següent. Aquest valor permet determinar, entre altres coses, si els vols es consideren enllaçats o no i el temps del que disposa cada servei del handling per poder realitzar les seves funcions.

3.3. Necessitats

S'entén per necessitats el temps i quantitat de treballadors necessaris per poder realitzar les funcions de cada un dels serveis de handling. Aquestes necessitats descriuen unes limitacions dins del mètode d'optimització que s'utilitza per realitzar aquest estudi. Per poder determinar aquestes necessitats s'ha d'especificar una hora d'inici, una hora de finalització i la quantitat de treballadors necessaris. Per tal de descriure les necessitats es contempen tres escenaris diferents i cada escenari parteix de diferents referències.

Cal destacar que les dades que es mostren a continuació no són exactament les que utilitza la companyia Ryanair, són dades obtingudes gràcies a treballadors o ex-treballadors del sector, per tant, basant-se en els seus casos personals. Tot i això, aquestes s'han assumit com a un estàndard de companyia aèria de low-cost, considerant-se prou representatives.

3.3.1. Arribades

El primer escenari que es contempla és tractar les arribades independentment de les sortides. Com s'ha vist anteriorment en l'apartat d'estàndards (2.1.) els serveis que actuen a les arribades són el Dispatcher, Baggage loader i Baggage transporter. Per poder determinar l'hora d'inici i final de servei s'utilitza el STA (hora programada d'arribada) com a referència.

Taula 3.1. Especificacions de les necessitats per les arribades

	Inici	Final	Número de treballadors
Baggage loader	STA - 10	STA + 20	2
Baggage transporter	STA	STA + 25	1
Dispatcher	STA - 5	STA + 15	1

3.3.2. Sortides

El segon escenari tracta les sortides independentment de les arribades. Els serveis que actuen a les sortides són el Dispatcher, Check-in, Boarding, Baggage sorter, Baggage loader, Baggage transporter i Pushback. Per poder determinar l'hora d'inici i final de servei s'utilitza el STD (hora programada de sortida) com a referència.

Taula 3.2. Especificacions de les necessitats per les sortides

	Inici	Final	Número de treballadors
Baggage loader	STD - 40	STD + 10	3
Baggage sorter	STD - 100	STD - 40	0.5
Baggage transporter	STD - 40	STD	1
Boarding	STD - 50	STD + 5	2
Check-in	STD - 120	STD - 50	1.5
Dispatcher	STD - 50	STD + 10	1
Pushback	STD - 15	STD + 10	1

La taula anterior, la columna de número de treballadors, conté dades en format decimal,. s'ha de tenir en compte en el cas del check-in que els usuaris tendeixen a utilitzar més el servei durant la segona meitat del temps, pel que es considera

que no cal que hi hagi dos treballadors des de l'inici, sinó que afegint-lo en el moment necessari ja satisfà el servei.

En el cas del Baggage sorter, es troba que una persona pot distribuir les maletes per a més d'un vol, és a dir, no està focalitzat en un sol vol. Per aquest motiu s'estima que una persona és capaç d'encarregar-se de dos vols diferents.

3.3.3. Enllaçats

El tercer i últim escenari contempla el cas dels vols enllaçats, on la sortida i l'arribada estan estretament relacionades. En aquest cas actuen tots els serveis del handling, com en el cas de les sortides. El canvi es produeix en que les seves hores d'inici estan referenciades al STA del vol que arriba en comptes del STD del vol que marxa.

Taula 3.3. Especificacions de les necessitats per a vols enllaçats

	Inici	Final	Núm. de treballadors
Baggage loader	STA - 10	STD + 10	3
Baggage sorter	STD - 100	STD - 40	0.5
Baggage transporter	STA	STD	1
Boarding	STD - 50	STD + 5	2
Check-in	STD - 120	STD - 50	1.5
Dispatcher	STA - 5	STD + 10	1
Pushback	STD - 15	STD + 10	1

Com que les funcions a realitzar són les mateixes que als casos anteriors, el número de treballadors no es veu alterat, només s'altera l'inici dels tres serveis que es realitzen depenent de les arribades.

Un cop determinades aquestes necessitats es poden crear les corbes de necessitats per a cada un dels serveis a cada un dels aeroports, per així poder realitzar l'optimització corresponent.

3.4. Resultats de l'optimització per un aeroport

Un cop realitzat l'estudi d'optimització s'obtenen unes dades concretes amb les que es pot procedir a realitzar l'estudi de regressió. Aquestes dades parteixen de les dades introduïdes en un inici, és a dir, de les necessitats i les rotacions.

3.4.1. Necessitats per a cada servei i totals

Les necessitats estan explicades amb anterioritat, però per tal de poder treballar amb elles es va considerar important posar-les en termes unitaris. Això vol dir que la referència de temps sigui igual per totes, concretament, 1 hora.

Per aquest motiu es transformen els treballadors per servei a Man-Hours per flight (MH/flight), és a dir, hores de treball de persones per vol. D'aquesta forma s'aconsegueix crear una mesura unitària. Per tal de mostrar les necessitats, així com les hores treballades i les ineficiències s'ha decidit utilitzar com a exemple l'aeroport de Madrid (MAD) durant la temporada d'estiu.

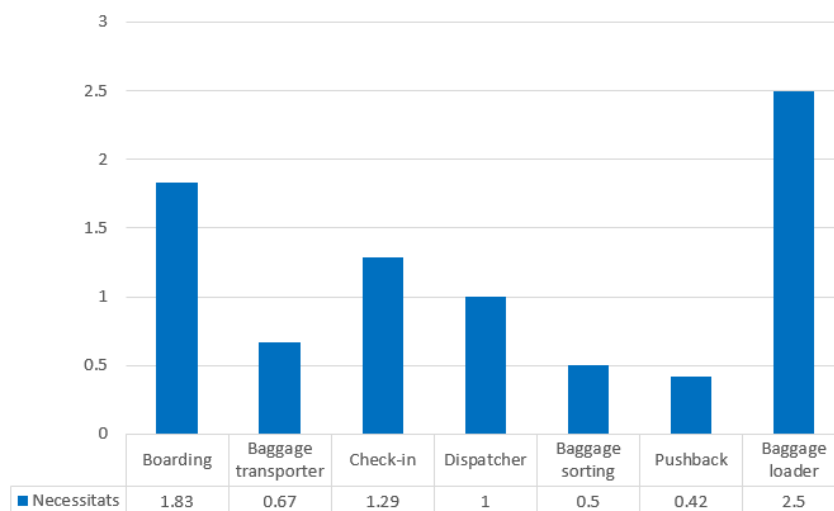


Fig 3.3. Necessitats en MH/flight a Madrid el 29 de setembre de 2019

3.4.2. Hores treballades per a cada servei i totals

El cas de les hores treballades va lligat amb les necessitats per cada un dels serveis i, a la vegada, amb els TAT entre vols. Aquestes dades, com en el cas de les necessitats, també han de ser independents de l'aeroport que s'analitzi, per això es treballa també en MH/flight.

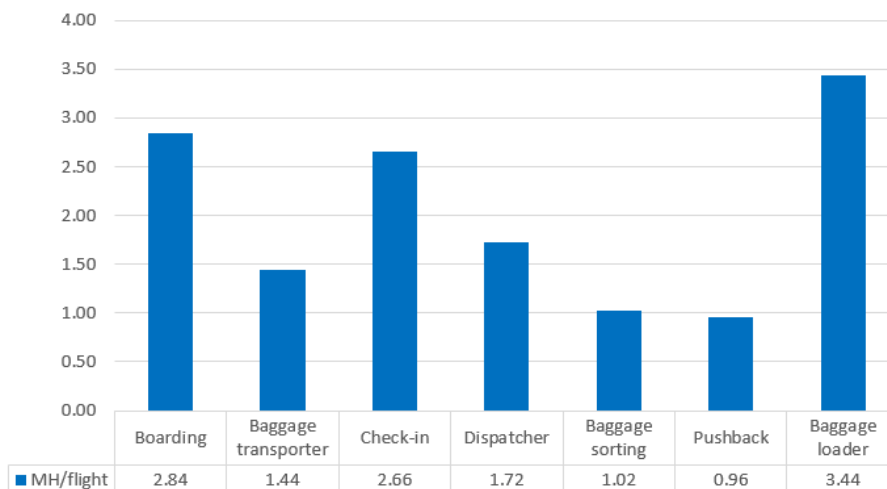


Fig 3.4. MH/flight a Madrid el 29 de setembre de 2019

3.4.3. Ineficiències per a cada servei i totals

Les ineficiències de cada servei permeten saber en quin grau està sobredimensionat o no les hores que es treballen sobre les necessitats. Aquestes ineficiències són un factor adimensional fruit de dividir les hores treballades entre les necessitats (els dos amb unitat MH/flight). Es diferencien diferents nivells d'ineficiència:

- Ineficiències entre 0 i 0.9999: Es considera que les hores treballades no cobreixen les necessitats. En aquest cas, si o si, s'hauria d'augmentar les hores de treball.
- Ineficiències entre 1 i 1.9999: Es considera que les hores treballades cobreixen eficientment les necessitats. Tot i això, dins d'aquest interval, com més pròxima a 1 sigui la ineficiència, més eficient serà la relació entre hores treballades i necessitats.
- Ineficiències de 2 o superiors: Es considera que les hores treballades estan sobredimensionades respecte les necessitats, és a dir, hi ha moltes més hores de treball del que es necessiten. Aquests són els casos considerats més problemàtics.

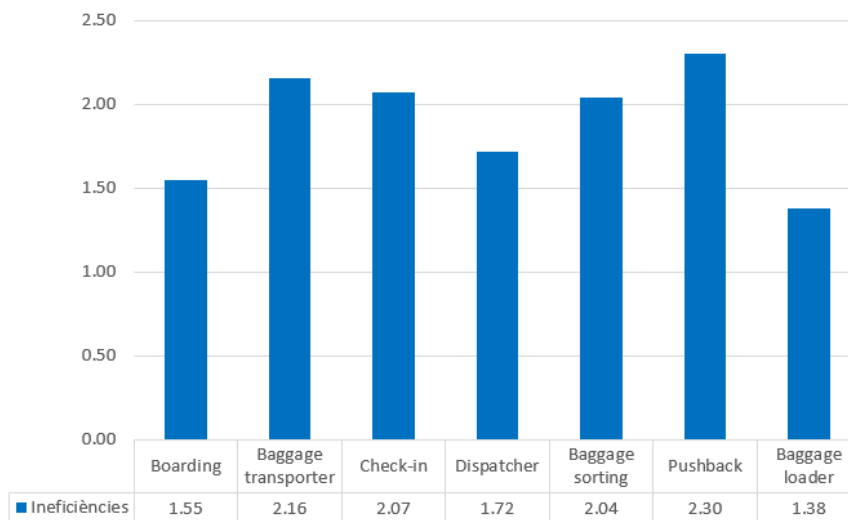


Fig 3.5. Ineficiències per vol a MAD el 29 de setembre de 2019

En aquest gràfic es pot veure dos dels tres tipus d'ineficiències, les ineficiències entre 1 i 1.9999 i les ineficiències superior a 2. De tots els serveis, el més eficient és el Baggage loader, ja que és el servei amb la menor ineficiència (1.38). Per contra, el servei més ineficient és el de Pushback, que acumula una ineficiència de 2.30.

3.4.4. Número de vols

El número de vols de cada aeroport permet dimensionar l'aeroport. Per aconseguir el número de vols s'han comptabilitzat tots els vols que tenen sortida el dia d'anàlisi en concret. D'aquesta manera, ja que el TAT és la relació entre STD i STA, els vols que arriben a l'aeroport el dia anterior al de l'anàlisi, però efectuen la sortida el mateix dia d'anàlisi són comptabilitzats.

3.4.5. TAT mínim

El TAT (Turn Around Time) mínim permet saber quina és la mínima estona que passa un avió a terra per tal de realitzar tots els serveis necessaris, és a dir, per cobrir les seves necessitats. Aquest TAT mínim depèn de la normativa de la companyia i també de la normativa pròpia de cada país.

3.4.6. TAT mitjà

El TAT mitjà és la mitja de tots els TAT d'un aeroport. Aquesta mesura permet saber si els vols tendeixen més cap al TAT mínim o utilitzen TAT majors.

3.4.7. Distància entre TAT mínim i TAT mitjà

La distància entre TAT mínim i mitjà permet quantificar la variació de TAT al llarg del dia. Una distància curta significa que es tendeix a utilitzar el mínim de temps indispensable (TAT mínim), mentre que si és una distància més gran s'obren dues possibilitats:

- 1) Els vols utilitzen TAT superiors o molt superiors al TAT mínim.
- 2) Hi ha vols que arriben el dia anterior al de la seva sortida, és a dir, passen la nit a l'aeroport.

Per tal de tenir en compte aquest factor de nocturnitat, es decideix crear també, les tres últimes dades (TAT mínim, TAT mitjà i Distància entre TAT mínim i TAT mitjà) sense tenir en compte els avions que passen la nit a l'aeroport.

3.4.8. Percentatge de vols enllaçats

El percentatge de vols enllaçats permet saber quina fracció del total de vols de l'aeroport són enllaçats. Cal recordar que per considerar-se enllaçats, els vols no han de superar un temps màxim d'estada a terra establert. Un alt percentatge de vols enllaçats pot significar més eficiència, ja que els recursos estan més ben optimitzats.

3.4.9. Desviació horària

La desviació horària mesura la distribució de vols al llarg del dia. Aquesta desviació és un número entre 0 i 1, sent 0 la no existència de vols i 1 la mateixa quantitat de vols per a cada fracció de temps. Com més proper sigui el número a 0, els vols estan més concentrat en una franja; pel contrari, com més proper sigui a 1, la distribució serà més igualitària.

Per tal de mostrar aquesta desviació horària s'exemplificarà amb dos aeroports diferents. Un d'ells, el fins ara utilitzat, Madrid (MAD), i l'altre la base principal de la companyia Stansted (STN). En els dos casos s'exemplifica durant la temporada d'estiu.

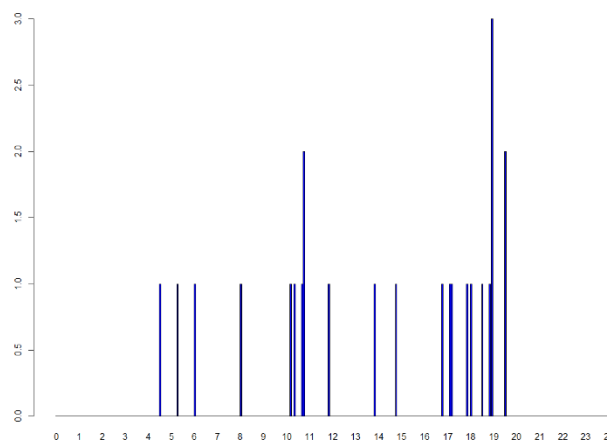


Fig 3.6. Distribució de vols a Madrid 29 el de setembre de 2019

Com es pot veure a la figura anterior, la distribució de vols a l'aeroport de Madrid no és constant, hi ha molts espais sense vols al llarg del dia. Això difereix de l'aeroport de Stansted (figura 3.7), on es veu amb claredat com els vols es distribueixen més equitativament al llarg del dia.

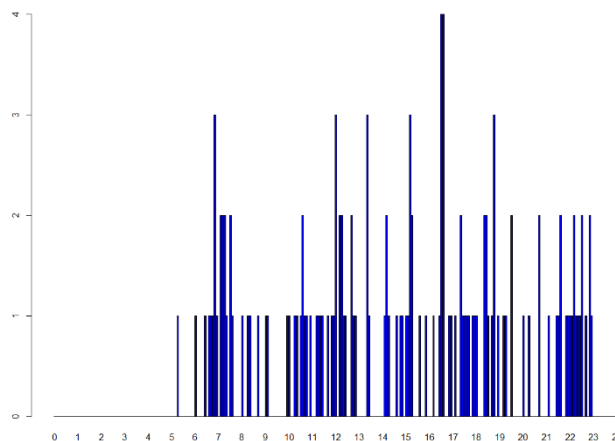


Fig 3.7 Distribució de vols a Stansted el 29 de setembre de 2019

Aquesta distribució provoca que la desviació horària en els dos casos sigui molt diferent. En el cas de Madrid (figura 3.6) la desviació horària és de 0.354, mentre que en el cas de Stansted la desviació horària és de 0.7546.

3.4.10. Estacionalitat horària (*intra-day*)

L'estacionalitat horària està definida com el ràtio entre el valor de necessitat màxim i el mínim diari. Aquest valor, per tant, permet saber el pic màxim de necessitat que es trobarà en un aeroport. L'estacionalitat, combinada amb la desviació permet fer-se una idea bastant completa no només de la distribució al llarg del dia, sinó també de la forma dels pics.

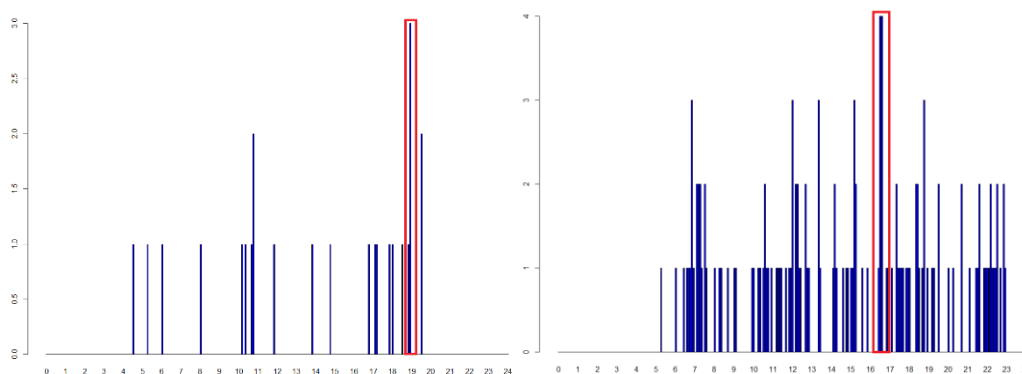


Fig 3.8. Distribució de vols indicant el pic màxim de Madrid (esquerra) i Stansted (dreta) el dia 29 de setembre de 2019

Observant els exemples anteriorment exposats es pot veure com en ambdós casos hi ha un pic clarament diferenciat. En el cas de Madrid el pic és de 3 vols, mentre que a Stansted és de 4 vols.

3.4.11. Curtosi

La curtosi és un valor estadístic que mesura com d'apuntada (amb quin pic o punta) és la corba de distribució. Com més alta sigui la curtosi, més apuntada serà la corba; per contra, com més baixa sigui, més plana serà la corba. Per a una companyia aèria, resultaria ideal tenir una corba completament plana o amb molt poc pic.

Aquest valor, combinat amb la desviació i l'estacionalitat permet obtenir la distribució dels vols i quantitats d'una forma numèrica. Es diferencien tres valors de curtosi diferents:

- Leptocúrtica: El coeficient de curtosi és major a 3, crea una corba apuntada i unes cues llargues i gruixudes.

- Mesocúrtica: El coeficient de curtosi és un valor proper a 3, crea una corba similar a una distribució normal.
- Platicúrtica: El coeficient de curtosi és menor a 3, crea una corba amb un pic baix i cues que s'aprimen molt ràpidament.

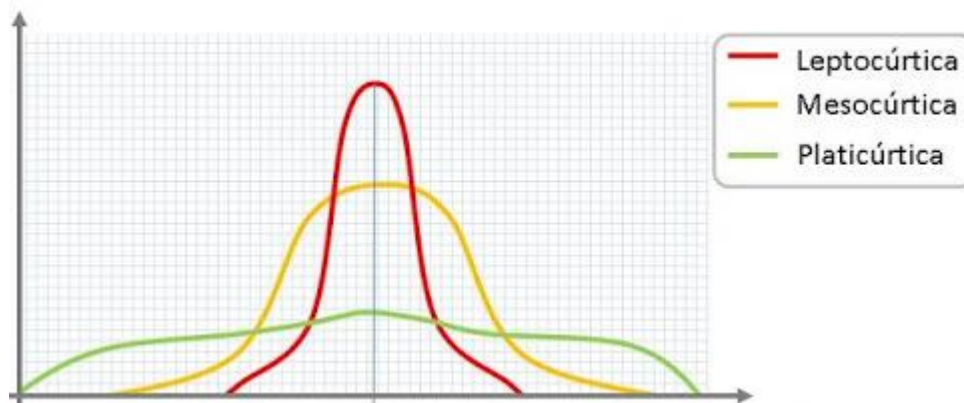


Fig 3.9. Representació gràfica de les diferents corbes de curtosi

3.5. Resultats de l'optimització per xarxa

Les dades mostrades amb anterioritat s'han obtingut per a un total de 94 aeroports diferents. Per escollir quins aeroports s'analitzaven d'entre tots els possibles, s'ha triat tots aquells que, durant un dia de la temporada d'estiu, hi passen més de 1000 passatgers de la companyia. D'aquesta forma s'obté una mostra prou variada d'aeroports i possibles distribucions.

Per a cada un dels 94 aeroports escollits s'ha realitzat un estudi d'optimització amb el que s'obtenen totes les dades esmentades a l'apartat 3.4. A partir d'aquestes dades es pot veure que els aeroports més concorreguts per cada temporada són els següents:

Taula 3.4. Aeroports més concorreguts per temporada

	Estiu	Hivern
1	Stansted – STN	Stansted – STN
2	Dublin – DUB	Dublin – DUB
3	Milà – BGY	Milà – BGY
4	Palma de Mallorca – PMI	Brussel·les – CRL
5	Barcelona – BCN	Roma – CIA
6	Manchester – MAN	Cracòvia – KRK
7	Màlaga – AGP	Madrid – MAD
8	Brussel·les – CRL	Barcelona – BCN
9	Alacant – ALC	Varsòvia – WMI
10	Cracòvia – KRK	Malta – MLA

A partir d'aquests aeroports estudiats es pot obtenir una taula amb totes les dades esmentades anteriorment per a cada una de les temporades. Per poder mostrar-ne un exemple, a continuació es mostra una taula amb totes les dades que s'utilitzen a l'estudi de regressió lineal.

Aeroport	MH total	Núm. Vols	TAT mínim	TAT mitjà	Distància TAT	TAT mínim (no nit)	TAT mitjà (no nit)	Distància TAT (no nit)	% Enllaçats	Desviació horària	Estacionalitat horària	Curtosi
STN	10.8575	128	25	150.9141	125.9141	25	45.55	20.55	69.53	0.7546	4	6.8132
DUB	10.8415	93	25	167.7527	142.7527	25	42.5735	17.5735	67.74	0.6659	3	7.684
BGY	12.5158	63	25	145.9683	120.9683	25	36.2245	11.2245	77.78	0.5789	4	12.2899
PMI	11.5092	54	30	113.9259	83.9259	30	67.2292	37.2292	77.78	0.4345	2	6.1337
BCN	13.4672	48	35	133.25	98.25	35	51.4865	16.4865	66.67	0.497	3	12.2224
MAN	11.9708	40	25	171.25	146.25	25	39.6667	14.6667	67.5	0.4715	3	12.6574
AGP	13.9474	38	35	150.2632	115.2632	35	44.8276	9.8276	73.68	0.4078	2	10.9744
CRL	12.4167	36	25	151.5278	126.5278	25	42.1429	17.1429	66.67	0.3548	2	9.6053
ALC	12.7165	30	35	166.2	131.2	35	47.6087	12.6087	73.33	0.321	2	10.2684
KRK	12.6161	28	25	119.4643	94.4643	25	34.3182	9.3182	75	0.3498	2	12.7144

Fig 3.10. Resultats de l'optimització dels 10 aeroports més concorreguts a l'estiu

Aeroport	MH total	Núm. Vols	TAT mínim	TAT mitjà	Distància TAT	TAT mínim (no nit)	TAT mitjà (no nit)	Distància TAT (no nit)	% Enllaçats	Desviació horària	Estacionalitat horària	Curtosi
STN	11.0374	78	25	149.641	124.641	25	38.9683	13.9683	74.36	0.627	4	8.8559
DUB	12.7961	56	25	243.4286	218.4286	25	59.4737	34.4737	53.57	0.4884	3	9.1219
BGY	13.0062	41	25	153.1707	128.1707	25	50	25	65.85	0.4277	2	10.0537
CRL	14.6129	31	25	225.3226	200.3226	25	34.1304	9.1304	74.19	0.3293	2	9.4151
CIA	14.4616	26	25	291.1538	266.1538	25	63.0556	38.0556	53.85	0.3379	2	14.5094
KRK	12.2575	22	25	233.4545	208.4545	25	71.1333	46.1333	50	0.2711	1	10.6517
MAD	14.1031	21	25	225.1429	200.1429	25	93.5333	68.5333	57.14	0.2784	2	16.3974
BCN	14.8292	20	35	225.8	190.8	35	93	58	50	0.2956	2	18.6351
WMI	14.6668	18	15	253.5	238.5	15	63.1667	48.1667	55.56	0.2542	1	12.5243
MLA	15.5276	18	25	193.3333	168.3333	25	54.6154	29.6154	61.11	0.2924	3	41.2781

Fig 3.11. Resultats de l'optimització dels 10 aeroports més concorreguts a l'hivern

3.6. Estudis de regressió lineal

Un cop obtingudes aquestes dades d'optimització es pot procedir a l'estudi a través del mètode de regressió lineal. Primerament es procedirà a realitzar un estudi de correlacions (regressió lineal simple). Aquest estudi permet saber la relació que hi ha entre cada una de les variables. Per tal d'obtenir un resultat més complet s'obtidran aquestes relacions de forma gràfica i de forma numèrica.

L'estudi es realitza amb totes les variables explicades amb anterioritat comparant-les amb les hores treballades total. D'aquesta forma s'obté una primera correlació important entre la dada que es vol optimitzar, és a dir, les hores treballades totals i la resta de dades que afecten a l'estudi. Per tant, de totes les correlacions que s'obtenen les úniques realment rellevants són les que relacionen les hores treballades totals amb qualsevol altre dada.

Seguidament, un cop determinades aquestes correlacions, es procedeix a la realització de l'estudi de regressió lineal amb variables múltiples. Com s'explica a l'apartat 2.4.2., aquest mètode permet generar un model de comportament d'una variable dependent, a partir d'un conjunt de variables independents. Per realitzar aquest estudi s'utilitzen les hores treballades totals com a variable dependent i la resta com a independents. Així es pot determinar d'una forma global les eficiències o ineficiències dels aeroports. Per tal que l'estudi sigui més complet es realitzen diferents estudis de regressió.

El primer estudi que es realitza, per a cada una de les temporades (estiu i hivern), modela el comportament de les hores treballades totals de cada aeroport en funció de tota la resta de variables. Amb aquest primer estudi s'obté quines variables dominen en el sistema i, per tant, són significatives.

El segon estudi que es realitza, també per a cada una de les temporades, modela el comportament de les hores treballades totals en funció de les variables considerades significatives en el primer estudi. D'aquesta forma es vol identificar més clarament quines variables i amb quines dimensions afecten a la variable dependent.

Aquests estudis només es consideren vàlids si es compleixen els criteris anteriorment exposats. Si els criteris no es compleixen en el primer estudi, el segon estudi ja no es realitza. En cas que això passi, l'estudi es donaria per acabat.

3.7. Problemàtiques

Per poder realitzar l'estudi complet s'apliquen dos mètodes principalment, el mètode d'optimització i el mètode de regressió lineal múltiple. En aquest sentit es detecta una problemàtica tenint en compte que el mètode d'optimització es realitza per a cada un dels aeroports de forma independent, per tant, aquesta optimització s'ha de repetir tants cops com aeroports s'analitzin.

És per això que es considera que realitzar un estudi d'optimització d'aquestes característiques cada cop que es vol analitzar una xarxa és inviable. Per aquest motiu es considera encertat crear un indicador o factor que permeti saber l'eficiència global de la xarxa en quant a handling. Aquest indicador s'anomenarà "Handling Efficiency" (HE), és a dir, Eficiència de Handling.

Capítol 4. Resultats de l'estudi

En aquest capítol es mostren els resultats de l'estudi realitzat. Primerament es mostra el resultat de l'estudi de regressió lineal realitzat. A continuació, es defineix l'indicador de Handling Efficiency a partir dels resultats de l'estudi. Finalment, es troba un exemple on s'aplica l'indicador proposat i quines implicacions comporta.

4.1. Resultats de l'estudi de regressió lineal

Un cop realitzat l'estudi d'optimització complet, es procedeix a realitzar l'estudi de regressió lineal amb variables múltiples. Com s'ha exposat anteriorment la variable dependent utilitzada són les hores treballades totals i les variables independents tota la resta.

Per analitzar els resultats s'han de tenir en compte els criteris explicats anteriorment a l'apartat 2.4.2. Per tal d'analitzar els resultats s'explica si aquest criteri es compleix o no i quines implicacions suposa. A continuació es mostren els resultats per la temporada d'estiu i la temporada d'hivern.

4.1.1. Estiu

Els resultats obtinguts de l'estudi de regressió lineal amb variables múltiples més general a l'estiu obté com a resultats el següents:

```
Call:
lm(formula = MH.total ~ Num.Vols + TAT.min + TAT.min.nonit +
    TAT.mitja + TAT.mitja.nonit + TAT.dist + TAT.dist.nonit +
    Desviacio + Estacionalitat + Curtosi - 1, data = non.inef)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-13.9363  -1.3208   0.0456   1.6253   9.2465

Coefficients: (2 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
<u>Num.Vols</u>      -0.42288    0.04811  -8.790 1.32e-13 ***
TAT.min          -54.65037    65.01897  -0.841 0.40294
TAT.min.nonit    NA                NA      NA      NA
<u>TAT.mitja</u>     0.01654    0.00713   2.320 0.02270 *
TAT.mitja.nonit  54.71227    65.02077   0.841 0.40242
TAT.dist         NA                NA      NA      NA
TAT.dist.nonit  -54.70289    65.02158  -0.841 0.40251
<u>Desviacio</u>     81.91614    10.53833   7.773 1.52e-11 ***
<u>Estacionalitat</u> 2.74631    1.00740   2.726 0.00776 **
<u>Curtosi</u>       0.09884    0.01043   9.473 5.37e-15 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.184 on 86 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9635,    <u>Adjusted R-squared: 0.9601</u>
F-statistic: 283.7 on 8 and 86 DF,    <u>p-value: < 2.2e-16</u>
```

Fig 4.1. Resultats del primer estudi de regressió lineal de variables múltiples de la temporada d'estiu.

Tal i com es pot observar en l'anterior figura el valor de R^2 és de 0.9601, és a dir, un valor molt superior al valor límit establert de 0.9. El P valor, també compleix els requisits establerts de ser inferior a 0.05 i, en aquest cas, és més petit que $2.2 \cdot 10^{-16}$. Tenint en compte aquests dos criteris l'estudi és bo i fiable, per tant el resultat que s'obté és fiable.

El resultat que interessa d'aquest primer estudi és determinar quina o quines variables independents influeixen més a la variable dependent. Per tal de veure aquesta influència, el mateix programa utilitzat identifica les més significatives amb asteriscs al seu costat. Quants més asteriscs hi hagi, més rellevant són dins el sistema. Així doncs, en el cas de l'estudi de regressió lineal per a la temporada d'estiu, els valors més significatius són:

- La curtosi
- El número de vols
- La desviació horària
- L'estacionalitat horària (intra-day)
- El TAT (Turn Around Time) mitjà

Sabent que aquestes són les variables més significatives dins del sistema sencer, amb totes les variables, es pot procedir a la realització del segon estudi. Cal recordar que aquest segon estudi es realitza només amb les variables considerades significatives, és a dir, les acabades de llistar.

```
Call:
lm(formula = MH.total ~ Num.Vols + TAT.mitja + Desviacio + Estacionalitat +
    Curtosi - 1, data = non.inef)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-14.6048  -1.3027   0.2095   1.7408   9.6759

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Num.Vols      -0.456071   0.044849  -10.169 < 2e-16 ***
TAT.mitja      0.021482   0.005142   4.178 6.86e-05 ***
Desviacio     90.006759   9.377270   9.598 2.17e-15 ***
Estacionalitat 3.089194   0.969406   3.187 0.00199 **
Curtosi        0.110743   0.009002  12.302 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.223 on 89 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9613,    Adjusted R-squared:  0.9591
F-statistic: 441.9 on 5 and 89 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Fig 4.2. Resultats del segon estudi de regressió lineal de variables múltiples de la temporada d'estiu.

Analitzant la figura es pot veure que la R^2 és de 0.9591, això suposa una diferència de 0.0010 entre l'anterior estudi i aquest. Aquesta diferència és mínima i es considera que la R^2 és molt bona. Per altra banda en el P valor no s'aprecien canvis i aquest segueix sent més petit que $2.2 \cdot 10^{-16}$. Analitzats aquests dos paràmetres es determina que el segon estudi realitzat és igual de bo que el realitzat amb totes les variables, per tant, es considera que l'estudi és correcte i amb resultats bons i fiables.

4.1.2. Hivern

Els resultats obtinguts de l'estudi de regressió lineal amb variables múltiples més general a l'hivern obté com a resultats les següents dades:

```
Call:
lm(formula = MH.total ~ Num.Vols + TAT.min + TAT.min.nonit +
    TAT.mitja + TAT.mitja.nonit + TAT.dist + TAT.dist.nonit +
    Desviació + Estacionalitat + Curtosi - 1, data = non.inef)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-5.3875 -1.9573 -0.2808  2.7156  8.1566

Coefficients: (3 not defined because of singularities)
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
<u>Num.Vols</u>      -0.819347   0.078330  -10.460  <2e-16 ***
TAT.min           0.036606   0.019367   1.890   0.0624 .
TAT.min.nonit      NA            NA         NA      NA
<u>TAT.mitja</u>     0.006782   0.003155   2.150   0.0346 *
TAT.mitja.nonit  -0.002226   0.013073  -0.170   0.8652
TAT.dist          NA            NA         NA      NA
TAT.dist.nonit   NA            NA         NA      NA
<u>Desviació</u>    116.563099   9.956327  11.707  <2e-16 ***
Estacionalitat    1.413582   1.132845   1.248   0.2158
<u>Curtosi</u>       0.061768   0.005569  11.092  <2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.443 on 79 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9662,  <u>Adjusted R-squared: 0.9632</u>
F-statistic: 322.2 on 7 and 79 DF,  <u>p-value: < 2.2e-16</u>
```

Fig 4.3. Resultats del primer estudi de regressió lineal de variables múltiples de la temporada d'hivern.

Observant l'anterior figura es pot veure com el valor de R^2 és de 0.9632, és a dir un valor molt bo i que, evidentment, es considera vàlid. Si s'analitza el P valor es pot veure com aquest clarament satisfà els requisits de ser inferior a 0.05 i és de $2.2 \cdot 10^{-16}$. Per tant, tal i com passa a l'estiu, l'estudi es considera bo i fiable.

Fent un paral·lelisme amb l'estudi realitzat a l'estiu el que interessa del primer estudi és identificar quina o quines variables independents es consideren significatives per a la variable dependent. Així doncs, es determina seguint el criteri dels asteriscs que, per a l'estudi de regressió lineal per a la temporada d'hivern, les variables més significatives són les següents:

- La curtosi
- El número de vols
- La desviació horària
- El TAT mitjà

A partir d'aquestes variables més significatives es pot procedir a realitzar el segon estudi.

```

Call:
lm(formula = MH.total ~ Num.Vols + TAT.mitja + Desviacio + Curtosi -
  1, data = non.inef)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-6.2135 -2.1377 -0.2056  2.7549  9.1952

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Num. Vols    -0.850990   0.077753  -10.945 < 2e-16 ***
TAT.mitja     0.008391   0.002776   3.023  0.00334 **
Desviacio    112.525450   7.323940  15.364 < 2e-16 ***
Curtosi       0.061392   0.004664  13.163 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 3.514 on 82 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9634,    Adjusted R-squared:  0.9616
F-statistic: 539.7 on 4 and 82 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Fig 4.4. Resultats del segon estudi de regressió lineal de variables múltiples de la temporada d'hivern.

Com en els casos anteriors el primer que es fa és comprovar si el model és vàlid. Es comprova que la R^2 és de 0.9616, això suposa una diferència de 0.016 respecte el cas d'estudi amb totes les variables independents, tot i la diferència, el model es considera igual de vàlid. Per altra banda, el P valor segueix sent menor a $2.2 \cdot 10^{-16}$, per tant, molt menor al 0.05 marcat com a límit. Amb aquestes dades es pot assumir que l'estudi amb variables significatives és igual de bo que l'estudi amb totes les variables.

4.1.3. Comparació

Un cop obtinguts els resultats per les dues temporades es pot procedir a comparar aquests resultats i veure les diferències que s'hi troben. A continuació es mostra una taula de mode de resum de quines són aquestes variables significatives.

Taula 4.1. Dades significatives per a cada temporada

Estiu	Hivern
Número de vols	Número de vols
Curtosi	Curtosi
Desviació horària	Desviació horària
TAT mitjà	TAT mitjà
Estacionalitat horària	

Com es pot veure, les dades són les mateixes, la única que canvia és la estacionalitat horària que apareix a l'estiu i no a l'hivern. Això és degut a que durant l'estiu hi ha més vols acumulats, mentre a l'hivern no estan tant acumulats i queden més repartits al llarg del dia.

Així doncs, es pot procedir a la interpretació de com afecten aquestes variables independents a la variable dependent (hores treballades totals). Per tal de veure-ho el que es fa és interpretar la columna "Estimate" dels segons estudis, el de les variables significatives, de cada una de les temporades. Aquesta columna permet saber com evolucionarà la variable dependent en funció de com varien aquestes variables independents. A continuació es mostra una taula amb els valors de la columna "Estimate" per a cada una de les variables significatives.

Taula 4.2. Valors de "Estimate" de les dades significatives

	Estiu	Hivern
Número de vols	-0.456071	-0.850990
Curtosi	0.110743	0.061392
Desviació horària	90.006759	112.525450
TAT mitjà	0.021482	0.008391
Estacionalitat horària	3.089194	---

La taula anterior permet veure com evolucionarien les hores treballades totals si aquestes variables independents augmenten o disminueixen. Com es pot veure, la única variable que és negativa és el número de vols, això significa que aquesta variable serà la única que si augmenta, les hores treballades totals disminuiran; i viceversa, si el número de vols disminueix, les hores treballades augmentaran. En el cas de les altres variables serà el contrari, quan augmentin, les hores treballades augmentaran; quan disminueixin, les hores treballades totals, disminuiran.

4.2. Definició de l'indicador de Handling Efficiency

Un cop definides les variables més significatives i com afecten a la variable d'hores treballades total, es pot passar a definir el que s'ha decidit anomenar Handling Efficiency. Per tal de definir aquest indicador s'ha de tenir en compte, un altre cop, com funcionen les companyies avui en dia.

Com s'ha explicat anteriorment, el procés que es dur a terme és totalment lineal (vegeu capítol 1), pel que l'optimització de torns de treball no es porta a terme fins casi al final del procediment i, per tant, no té cap mena d'afecte sobre la creació i planificació de xares de vol. El que es pretén amb aquest indicador és revertir aquest cas i que l'optimització de torns permeti també ser un factor determinant per poder escollir quina xarxa és més adient.

4.2.1. Anàlisi de les variables

El primer que es troba destacat fer és analitzar l'efecte de cada una de les variables significatives sobre les hores treballades totals. Per fer-ho, primer cal remarcar com es defineixen aquestes hores treballades totals.

4.2.1.1. Hores treballades total

Les hores treballades total resulta de la suma de totes les hores treballades per a cada un dels serveis en un vol. Per obtenir un valor més interessant en quant a nivell global de xarxa, el que es fa és transformar aquesta variable de MH/flight a Hores Treballades per xarxa. Posteriorment també es vol obtenir un cost general per tota la xarxa tenint en compte que cada hora de treball costa 20€, es pren aquest valor com a hipòtesi i obtenir resultats finals més arrodonits. Aquesta transformació s'ha realitzat per a les dues temporades:

Taula 4.3. Anàlisi i costos de les hores treballades

	29 de setembre	13 de novembre
Número de vols totals	1,505	885
Hores treballades total a la xarxa	21,005	13,593
Cost de les hores treballades	420,100 €	271,860 €
Cost mig per vol	279.15 €	307.19 €
MH mig per vol	15.72	17.61

La taula mostra el número de vols totals per a cada un dels dos dies de les dues temporades, en aquest cas es pot veure que a l'estiu (29 de setembre) el número de vols representa, aproximadament, un 70% més de vols que durant el dia d'hivern (13 de novembre). Aquesta relació de quantitat d'hores treballades disminueix fins al 55%, és a dir, amb un 70% més de vols, es treballa un 55% més d'hores. Aquesta relació d'un 55% més d'hores treballades es veu reflectit en que el cost durant el dia d'estiu és també un 55% més que durant el dia d'hivern. Finalment, el cost mig per vols a l'estiu disminueix un 9% respecte l'hivern. Finalment, la mitja de les hores treballades per vol conserva la mateixa relació que el cost mig per vol.

Com a resum de l'apartat es pot veure que les hores treballades a l'estiu són moltes més que a l'hivern, però que això no es veu reflectit en el cost mig per vol, al contrari, el cost mig per vol és més car durant l'hivern que a l'estiu.

4.2.1.2. Número de vols

El número de vols és una variable altament significativa en les dues temporades. Aquesta variable, a més, és l'única que els seus valors de predicció són negatius. Aquests valors negatius volen dir que quan la variable número de vols augmenta, les hores treballades disminueixen, així doncs, es tornen més eficients.

Per aquest motiu a l'estiu el cost mig per vol i les hores treballades per vol són més baixes que a l'hivern, perquè hi ha més vols. Cal remarcar que si s'arribés a un número extremadament alt de vols i es repetís aquest estudi aquesta variable no indicaria un descens, podria marcar un augment, en aquest cas es parlaria d'un sistema sobrecarregat.

S'ha de tenir en compte que majoritàriament el número de vols no és un factor que es pugui escollir amb total llibertat. El número de vols depèn de la quantitat d'avions dels que es disposa, les rutes que es volen fer i el personal amb el que conta la companyia.

4.2.1.3. Curtosi

La curtosi és també altament significativa dins de l'estudi. Contràriament al número de vols, el seus valors de predicció són positius, pel que si augmenta la curtosi, les ineficiències augmentarien també. Aquesta solució correspon amb la teoria explicada en l'apartat 3.4.11., on es mostren les tres classificacions de curtosi. La curtosi més òptima seria la platicúrtica, aquella que el seu valor és més petit que 3, tot i això a l'estudi només s'ha trobat casos de curtosi leptocúrtica.

Modificar la curtosi significaria aplanar tota la distribució de vols per així poder obtenir una curtosi platicúrtica.

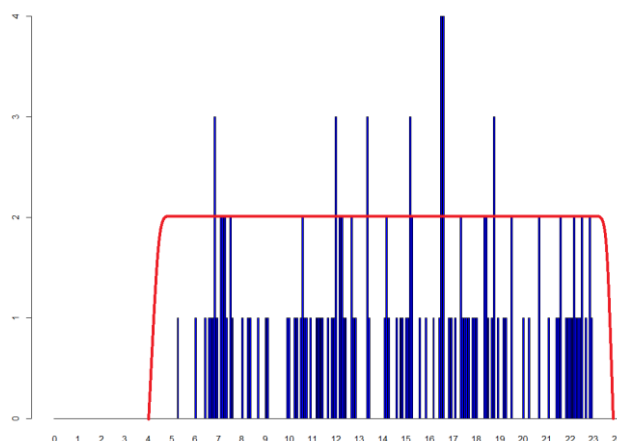


Fig 4.5. Proposta de distribució de vols (vermell) i distribució actual (blau)

Aquesta modificació de la distribució de vols suposaria també l'alteració d'una altra de les variables que resulten significatives, l'estacionalitat i la desviació horària.

4.2.1.4. Desviació horària

La desviació horària resulta com a dada significativa en els estudis, però amb menys mesura que les dues anteriors, tot i així, la diferència és mínima. Els valors de predicció d'aquesta variable resulten positius en els dos casos i, a més, amb valors molt elevats. Això vol dir que un augment unitari a la desviació pot provocar un augment de 100 punts a les hores treballades. Tot i això, cal remarcar que és impossible un augment unitari a la desviació, ja que es tracta d'un valor que oscil·la entre 0 i 1.

El que és realment rellevant d'aquesta variable és que per tal d'obtenir-ne un valor més baix, aquesta entra en conflicte amb la curtosi i l'estacionalitat. Per la curtosi s'havia d'aplanar la distribució, és a dir, fer que la distribució de vols al llarg del dia fos més uniforme (corba vermella de la figura 4.5.). Justament aquesta nova corba és la que entra en conflicte, ja que una distribució més uniforme vol dir una desviació horària més elevada. Per poder determinar què és millor fer s'han de valorar aquestes dues variables juntament amb la tercera que indica la distribució de vols, l'estacionalitat.

4.2.1.5. Estacionalitat horària (intra-day)

L'estacionalitat és una variable que es considera significativa només durant la temporada d'estiu. Això, com s'ha dit amb anterioritat, es deu a que durant l'estiu hi ha moltes més acumulacions de vols que durant l'hivern. El valor predictiu d'aquesta variable és positiu, pel que si augmenta l'estacionalitat, les hores de treball també augmentarien.

Es veu racional pensar que a l'hivern aquesta variable no és significativa perquè no hi ha grans acumulacions de vols, per tant, si a l'estiu s'evitessin aquestes acumulacions, tampoc seria rellevant. Això es posa en sintonia amb l'explicació de la curtosi, que a més plana la corba de distribució, més eficient resultarien les hores de treball.

4.2.1.6. TAT mitjà

El TAT mitjà és la última de les variables considerades significatives per ambdues temporades. Com en els casos anteriors, el seu valor de predicció és positiu, per tant, si aquest valor augmenta, les hores treballades també ho fan. Aquesta relació és obvia, ja que més estona a terra de mitja significa menys vols enllaçats, per tant, menys optimització de recursos humans.

Aquesta variable, tot i que es pot controlar, té limitacions molt evidents. Aquestes limitacions venen marcades pel temps mínim indispensable per preparar l'avió (TAT mínim), les hores de descans de tripulació, els canvis de tripulació i les hores de nit en que, en general, casi no es vola.

4.2.2. Definició de l'indicador

Un cop analitzat per separat cada una de les dades es pot passar a definir el que serà finalment l'indicador de Handling Efficiency (HE). Per tal de definir aquest indicador i les seves implicacions s'han de tenir en compte les variables significatives anteriorment explicades.

Com que l'objectiu d'aquest projecte és determinar un indicador que relacioni l'optimització de torns, que es realitza als últims passos del procés de planificació global d'una aerolínia, amb el procés de planificació de xarxa per a cada una de les temporades, l'indicador ha de resultar senzill d'utilitzar i poder comparar.

Per tal de crear aquest indicador es decideix treballar amb les variables significatives explicades anteriorment. Això es deu a que aquestes variables determinen les hores de treball, per tant, si aquestes es minimitzen, les hores treballades totals també. Les dues fórmules que determinen el Handling Efficiency són les següents:

$$HE_s = \frac{1}{2}(0.110743 * Curtosi + 90.006759 * Desviació + 3.089194 * Estacionalitat + 0.021482 * TAT mitjà - 0.456071 * Número de vols) \quad (4.1)$$

$$HE_w = \frac{1}{2}(0.061392 * Curtosi + 112.52545 * Desviació horària + 0.08391 * TAT mitjà - 0.85099 * Número de vols) \quad (4.2)$$

Com es pot veure existeixen dues fórmules resultants, una per a cada una de les temporades. Aquestes s'indiquen amb una "S" en el cas de l'estiu (Summer, en anglès) i "W" en el cas de l'hivern (Winter, en anglès). Aquestes fórmules permeten obtenir un indicador de productivitat de handling, per tant, es relaciona el handling directament amb l'espai de programació.

Aquest indicador és resultat de multiplicar els valors de la columna "Estimate" per cada una de les seves variables corresponents. És, per tant, un indicador que pondera cada variable dins el sistema amb el seu pes concret. Per poder avaluar aquest indicador s'ha de tenir en compte que s'està realitzant una optimització, per tant, com més petit sigui l'indicador, més bo serà el resultat. Aquest resultat a part de ser un indicador d'eficiència també permet avaluar els costos associats a cada un dels indicadors.

Aquests càlculs de costos se simplifiquen en multiplicar l'indicador pel número de vols i per la quantitat de vols del sistema que s'estudia. D'aquesta forma no tant sols s'obté el coneixement de quin sistema és més eficient, sinó que també s'hi afegeix el coneixement de quin estalvi suposa.

4.2.3. Implementació de l'indicador

L'indicador de Handling Efficiency permet a les companyies aèries low-cost predir el comportament del servei de handling en cada un dels sistemes que es proposen. En aquest punt cal recordar que quan es parla de sistema, es refereix a xarxa de vols total, vols d'un aeroport; i durant un període de temps determinat, com a molt, una temporada. Com que aquest indicador permet ajudar a les companyies, la seva aplicació està estretament relacionada amb elles. A continuació es detalla el procés d'implementació que s'hauria de realitzar.

Abans de començar aquest procediment s'ha de recordar en quin punt es vol aplicar aquest indicador dins del procés que segueixen les aerolínies. Aquest indicador es vol aplicar en l'apartat de programació, on es decideixen les rutes, horaris, xarxes, etc.

Així doncs, primerament, s'ha de tenir les dades de cada un dels sistemes que es volen estudiar i comparar. Aquestes dades són les que els departaments de Network & Planning i Scheduling utilitzen per poder crear aquestes programacions. Les dades que es faran servir són les de les rotacions, que formen part d'una xarxa de vols. En general, per tant, es treballa amb xarxes de vols de més o menys dimensions, depenent de la quantitat d'aeroports que s'estudiïn.

Un cop es tenen les dades s'ha d'obtenir una corba amb la que es podran calcular les variables. Aquesta corba, a diferència que totes les explicades anteriorment, és una corba de distribució de vols. Aquesta corba es pot aconseguir a partir de les dades emmagatzemades al programari utilitzat per el departament de programació, i tindria la següent forma:

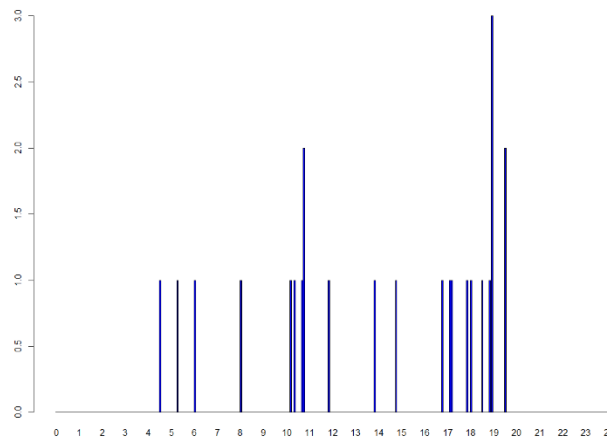


Fig 4.6. Distribució de vols a Madrid 29 el de setembre de 2019

Aquesta distribució (ja mostrada anteriorment com a exemple) mostra la disposició dels vols al llarg del dia 29 de setembre de 2019 a Madrid. A partir d'aquesta corba de distribució es poden extreure les tres variables relatives a la distribució de vols i que afecten a l'indicador. Aquestes són la desviació horària, l'estacionalitat horària i la curtosi. Indirectament, la corba permet també saber el número de vols, per tant, s'obtenen totes les variables necessàries exceptuant-ne una, el TAT mitjà.

L'obtenció del TAT mitjà és molt més senzilla que l'obtenció de les altres variables. Aquesta s'obté fent la mitjana de la diferència d'hora de sortida programada i hora d'arribada programada entre dos vols consecutius. Una altra alternativa és obtenir aquesta dada directament a partir de la mitjana de temps d'estada a terra. En molts casos aquesta dada es pot obtenir directament del software de programació.

Un cop obtingudes totes les dades es pot procedir a obtenir l'indicador de Handling Efficiency (HE). Cada sistema que s'estudiï tindrà el seu propi HE i és aquest el valor que es pot comparar. Per saber quin sistema és millor en relació amb el handling s'ha de veure quin de tots té el HE més baix.

Finalment, l'indicador HE permet també obtenir el cost de cada un dels sistemes que s'estudia. Si es multiplica aquest HE pel cost dels treballadors s'obté el cost mitjà per a cada un dels vols del sistema que s'analitza. Si el que es vol aconseguir és el cost total, aquest primer cost trobat s'ha de multiplicar pel número de vols. Així doncs, s'obtindrà el cost total del sistema.

4.3. Aplicació de l'indicador de Handling Efficiency

A continuació es vol mostrar un exemple d'aplicació d'aquest indicador. Per fer-ho, s'ha decidit treballar amb l'exemple que s'ha anat repetint al llarg del projecte, la base de Madrid (MAD). Per poder aplicar l'indicador es seguiran els passos prèviament establerts i que es comentaran a continuació.

Abans de començar cal establir quin serà el sistema d'estudi. En aquest cas, i seguint l'exemple de tot el projecte, s'ha decidit establir el 29 de setembre com a data del sistema. Per tant, el sistema sobre el que s'aplicarà l'indicador és l'aeroport de Madrid el dia 29 de setembre de 2019(temporada d'estiu).

4.3.1. Creació de xarxes

El primer pas, com s'ha dit anteriorment, és obtenir les dades de les xarxes. En aquest cas només es disposa d'una xarxa de vols, per tant, la resta son xarxes creades per poder valorar-les, en cap cas són opcions reals.

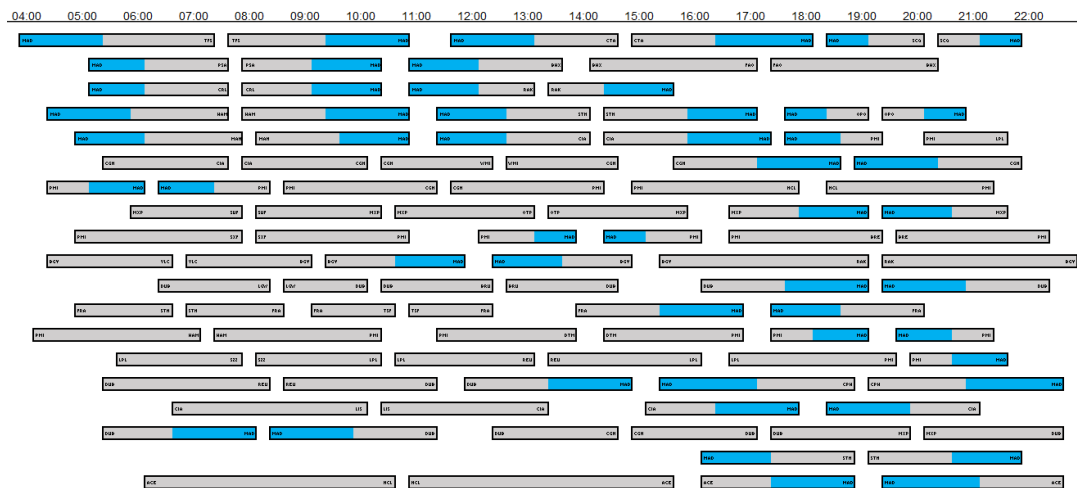


Fig 4.7. Xarxa de vols original a Madrid el 29 de setembre de 2019

La primera imatge que es mostra és la xarxa de vols original de tots els vols que passen per Madrid el dia 29 de setembre de 2019. Per poder diferenciar quines arribades i sortides són de Madrid i quines no, s'ha establert un codi de colors. Els avions que arriben i surten de Madrid s'identifiquen amb el color blau, mentre que la resta són de color gris.

Seguidament es mostra una primera alternativa de vols. En aquesta primera opció s'ha modificat únicament els vols de First Wave (primera hora). Els vols que s'han mogut s'han comprimit, és a dir, s'han reduït els TAT posteriors.

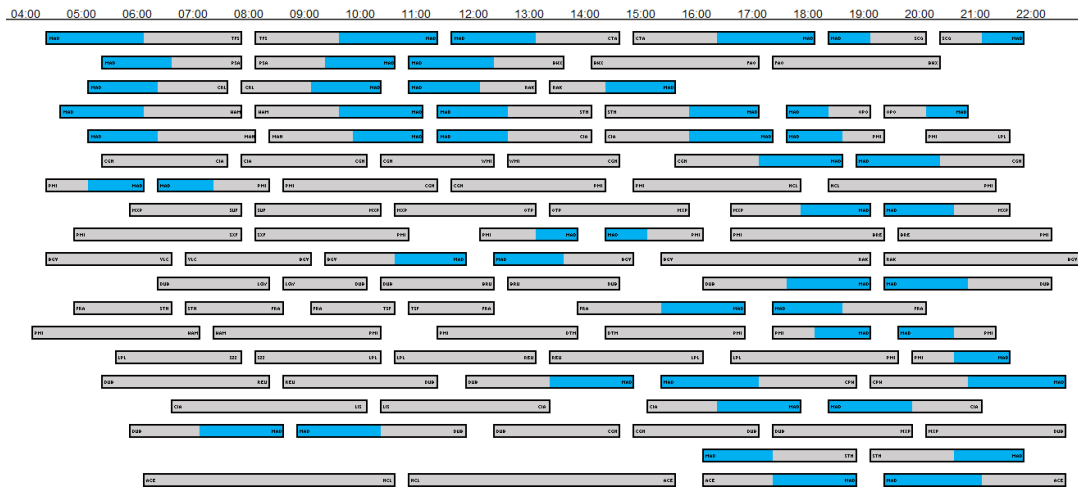


Fig 4.8. Xarxa de vols modificant TAT a Madrid el 29 de setembre de 2019

Tal i com es mostra a la imatge, els vols s'han mogut d'acord amb comprimir el TAT de cada un dels vols de First Wave (vols de primera hora). Això es veu a la imatge entre les 10 i les 12, on els espais en blanc es veuen reduïts respecte la rotació original (figura 4.7.).

Seguidament es mostra una altra opció de rotacions, aquesta s'ha fet modificant la distribució de vols de tal manera que es creïn tres pics, per tant, es disminueixi la desviació horària. Els moviments que s'han fet són de com a màxim 30 minuts, aquests moviments es consideren viables i possibles de realitzar per una companyia. Aquestes propostes no tenen en compte la possibilitat o no d'aconseguir els nous horaris, simplement són un exemple teòric.

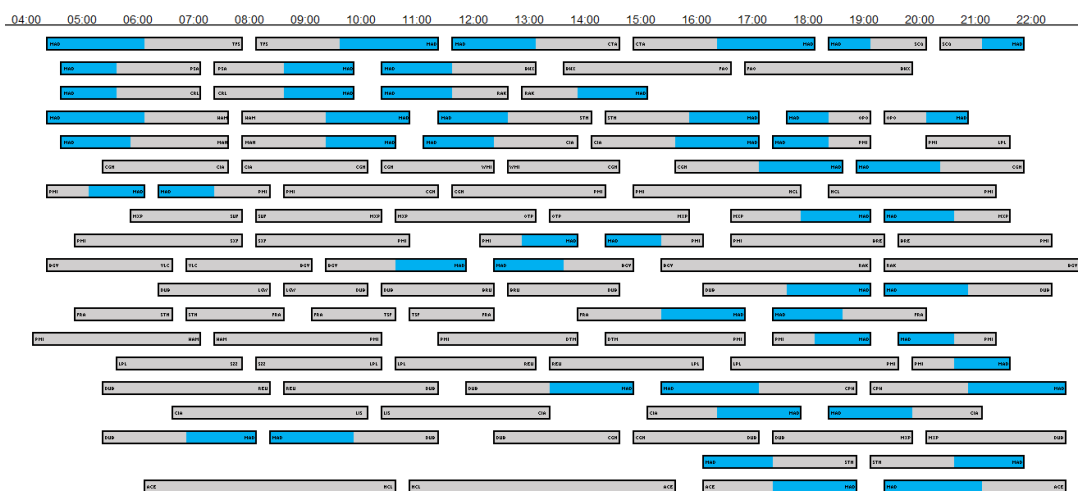


Fig 4.9. Xarxa de vols modificant desviació a Madrid el 29 de setembre de 2019

Aquestes modificacions, si no es vol alterar en excés totes les rotacions, només es poden realitzar a First Wave o movent tota la rotació. Pel contrari es farien canvis massa grans a les rotacions, cosa que provocaria molts problemes a la resta d'aeroports. Així doncs, els canvis de temps màxims que s'han realitzat són de 30 minuts.

Finalment, l'última xarxa que es proposa és una xarxa on es pretén reduir l'estacionalitat. Per tal d'aconseguir-ho, els pics dels vols s'han de reduir, per tant, en aquest cas, es treballarà movent vols més enllà de FW, també es mouran vols d'altres moments del dia.

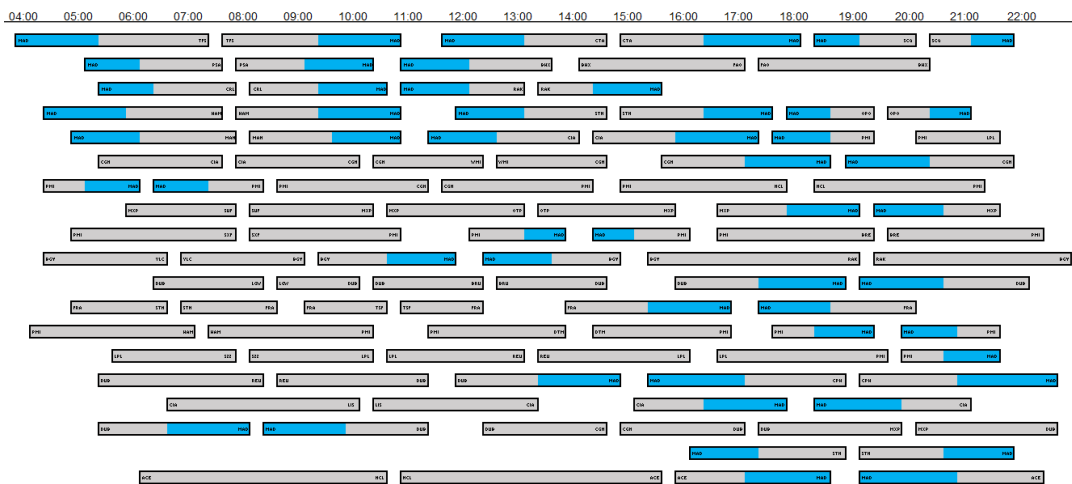


Fig 4.10. Xarxa de vols modificant estacionalitat a Madrid el 29 de setembre de 2019

En tots els casos s'han plantejat els moviments de vols de com a màxim 30 minuts, per tant, poc visibles a nivell de xarxa. Aquests moviments s'han fet a petita escala per tal de simular el funcionament real d'una aerolínia. Els canvis que normalment es realitzen són canvis de poc temps per no alterar tota la rotació.

Un cop obtingudes les diferents opcions de xarxa es pot procedir al següent pas del procés, l'obtenció de la corba de distribució de vols per a cada una de les opcions. A partir de la corba es podran analitzar les diferents variables i així obtenir l'indicador de Handling Efficiency.

4.3.2. Obtenció de les corbes de distribució

Les corbes de distribució són la representació gràfica i numèrica de les arribades i sortides proposades a cada una de les xarxes anteriors. Analitzant les corbes es poden obtenir les diferents variables per calcular l'indicador. La primera corba que es mostra és la corba de la xarxa original.

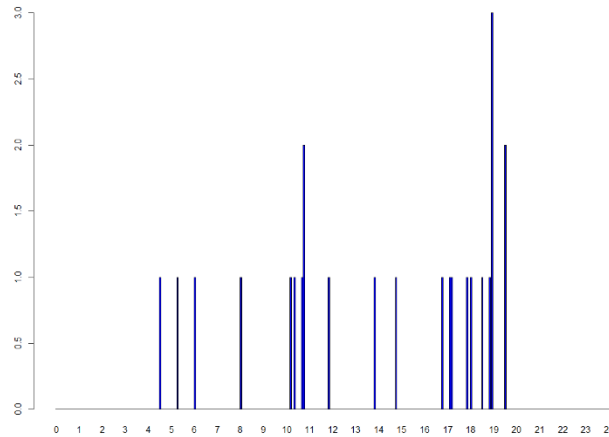


Fig 4.11. Distribució de vols de la xarxa original

Com es pot veure, a la xarxa original, els vols estan distribuïts de tal forma que s'identifiquen diversos espais molt buits al llarg del dia. Aquests espais no es podrien omplir, ja que en cap cas es contempla la possibilitat d'afegir grans quantitats de vols. Així doncs, es treballarà amb els vols ja existents.

La segona corba de distribució que es mostra és la de la xarxa en la que es modifica el TAT.

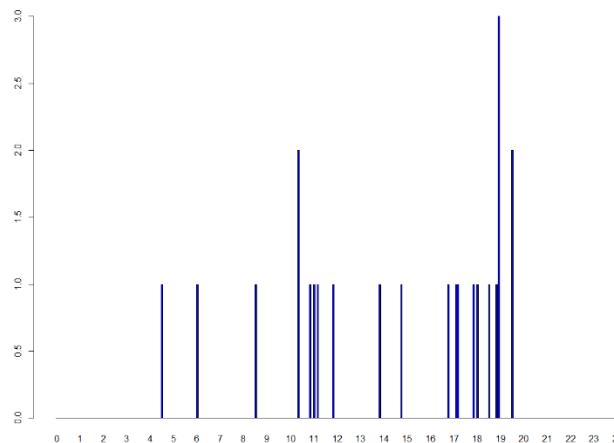


Fig 4.12. Distribució de vols de la xarxa amb el TAT modificat

Si es comparen les dues imatges es pot veure com no existeix una diferència en els pics, en canvi, es veuen canvis en la posició dels vols. Això es deu que al modificar els TAT i fer-los més petits (tendint al mínim), només canvia l'hora d'arribada i sortida del vol o rotació i, per tant, la seva posició dins l'horari.

Seguidament es mostra la distribució de de la xarxa de vols on es modifica la desviació horària.

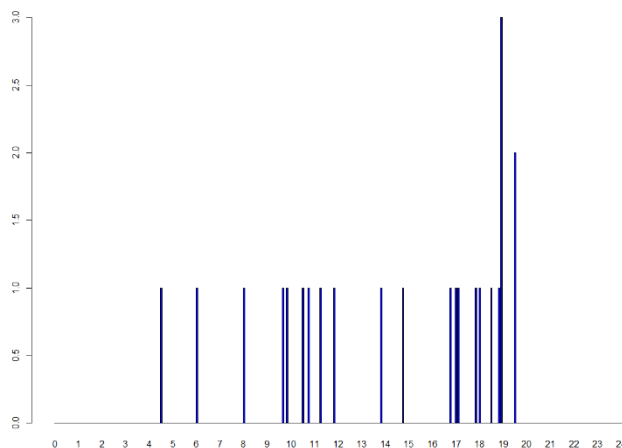


Fig 4.13. Distribució de vols de la xarxa amb la desviació horària modificada

En aquesta distribució es pot veure com el pic que originalment estava situat entre les 10 i les 11 desapareix, d'aquesta forma s'obté una variació en la desviació horària. Això s'ha aconseguit només modificant els vols de First Wave (primera hora).

Per acabar, la última distribució que es mostra és la de la xarxa on es modifica l'estacionalitat horària (intra-day).

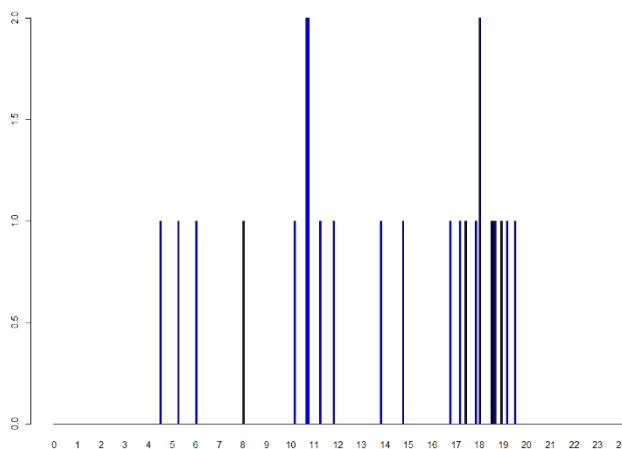


Fig 4.13. Distribució de vols de la xarxa amb l'estacionalitat horària modificada

Per tal de modificar l'estacionalitat s'han realitzat dues accions principals. Primer s'ha reduït el pic més gran, originalment de 3 vols, situat entre les 18 i les 19. A continuació s'han creat diferents pics de la mateixa quantitat de vols. D'aquesta forma es pot aconseguir una estacionalitat més baixa.

Un cop obtingudes totes les corbes de distribució es pot procedir a obtenir les dades per així aconseguir el Handling Efficiency.

4.3.3. Càlcul del Handling Efficiency

A partir de cada una de les corbes de les xarxes proposades es poden obtenir les dades necessàries per a trobar el HE. Per tal de poder visualitzar millor cada una de les dades per cada xarxa, es fa la següent definició en quant a nomenclatura:

- Original: xarxa de vols original
- Opció 1: xarxa de vols modificant el TAT
- Opció 2: xarxa de vols modificant la desviació horària
- Opció 3: xarxa de vols modificant l'estacionalitat horària.

Els resultats que s'obtenen, arrodonits a dos decimals, són els següents:

Taula 4.4. Resultats de les diferents xarxes

	Original	Opció 1	Opció 2	Opció 3
Desviació horària	0.33	0.33	0.32	0.32
TAT mitjà	70.19	46.15	51.73	72.31
Curtosi	31.44	33.15	33.72	18.58
Estacionalitat horària	3	3	3	2
Handling Efficiency (HE)	16.2	15.84	15.45	13.21

Observant la taula anterior es pot veure com els resultats finals del Handling Efficiency (HE) de les diferents opcions proposades resulten menors que els de la xarxa original, per tant, millors per la companyia. A continuació s'analitza cas per cas.

4.3.3.1. Xarxa de vols modificant el TAT

La primera opció que s'ha contemplat és la reducció de TAT, com s'ha dit anteriorment, aquesta reducció només s'ha aplicat als vols de primera onada o primera hora (First Wave). Aquesta reducció de TAT provoca disminuir el TAT mitjà en 24 minuts. Aquesta disminució de TAT provoca un augment de la curtosi, però no es considera significativa, ja que és de menys de 2 unitats.

La reducció de TAT provocada es veu en part compensada per l'augment de curtosi. D'aquesta manera la reducció observada és tant sols de 0.36 unitats, el que suposa una reducció del 2.22%.

4.3.3.2. Xarxa de vols modificant la desviació horària

La segona opció que s'ha contemplat és la reducció de desviació horària. Aquesta modificació, com en el cas anterior, també s'ha aplicat principalment a primera onada. Aquesta reducció de la desviació horària és pràcticament

imperceptible, ja que aquesta només disminueix en 0.01. Aquesta reducció de la desviació horària porta associada una disminució del TAT mitjà i un augment de la curtosi.

Com en el cas anterior, l'augment de curtosi emmascara la baixada de la desviació i del TAT, fet que provoca que l'indicador no es vegi reduït en excés. Així doncs, la reducció observada és de 0.75 unitats, el que suposa una reducció del 4.63%.

4.3.3.3. Xarxa de vols modificant l'estacionalitat horària (intra-day)

Finalment, la tercer opció contemplada ha sigut la reducció de l'estacionalitat horària. Per contra als dos casos anteriors, aquesta modificació s'ha realitzat amb vols al llarg de tot el dia intentant reduir els pics existents. La reducció d'estacionalitat és només d'una unitat, o el que és el mateix, en comptes d'un pic de 3 vols, s'obté un pic de 2 vols. La reducció d'estacionalitat horària comporta associada una reducció de la desviació horària que es veu compensada per un augment del TAT mitjà. El més significatiu és la davallada de la curtosi, que disminueix en 12.86 unitats. La caiguda de la curtosi significa que la corba de distribució és més pròxima a una corba platycúrtica, l'objectiu ideal de corba de distribució de vols.

En aquesta última opció l'augment de TAT es veu compensat per la disminució de la desviació horària. El que es rellevant és el descens provocat de l'estacionalitat horària, com el descens de la curtosi per culpa de la disminució de l'estacionalitat. Aquests descensos provoquen que l'indicador es redueixi en 2.99 unitats, o el que és el mateix, un 18.46%.

Un cop analitzat cada un dels casos es troba rellevant transformar aquestes dades numèriques abstractes en números reals i importants per a la companyia. Aquests números són evidentment els diners que suposaria cada una de les opcions.

Per poder determinar aquests diners s'estableix, com anteriorment, que el cost d'un empleat és de 20€ per hora. També es calcula que suposaria, obtenir resultats iguals per a cada un dels dies de la temporada. És a dir, quin cost per temporada representa cada una de les opcions. Cal remarcar que aquests costos són només relatius a l'aeroport de Madrid. La resta d'aeroports als que vola la companyia no es tenen en compte en aquest informe de costos.

Taula 4.5. Costos de cada una de les xarxes estudiades, en euros (€) arrodonit als milers

	Original	Opció 1	Opció 2	Opció 3
29 de setembre	8,000	8,000	8,000	6,500
Temporada	1,828,000	1,787,000	1,743,000	1,490,000

Com és lògic, com més petit sigui el Handling Efficiency més eficient és el sistema, per tant, menys costós resulta. Per poder quantificar millor l'estalvi que suposa cada una de les opcions proposades i analitzades es crea una taula on s'identifica l'estalvi que comporta cada una de les opcions respecte la xarxa de vols original.

Taula 4.6. Estalvi de cada una de les xarxes estudiades respecte la xarxa original, en euros (€)

	Opció 1	Opció 2	Opció 3
29 de setembre	187	390	1,557
Temporada	40,500	84,500	337,500

Veient l'estalvi que s'aconsegueix amb cada una de les opcions es pot veure la importància d'aquest indicador. Un indicador que en el moment de la planificació ja permet simular el cost de cada un dels sistemes i, per tant, el possible estalvi o cost afegit.

Cal recordar que aquestes dades són només de l'aeroport de Madrid i que qualsevol moviment en aquest aeroport pot comportar moviments que empitjorin o millorin l'indicador de Handling Efficiency a altres aeroports.

Capítol 5. Conclusions

L'objectiu d'aquest projecte era determinar un indicador, fórmula o procediment que relacionés la gestió de serveis de l'aeroport amb la planificació de xarxes de vols per temporada a partir de dades reals de planificació de vols. Tal i com s'ha exposat en aquest document, la creació d'aquest indicador i el seu procediment d'obtenció són possibles.

L'indicador ideat permet relacionar la gestió de recursos a l'aeroport, un dels últims passos en el procediment de planificació de temporada de les companyies aèries, amb la planificació, un dels passos principals. Aquesta relació es fa a partir de dades que els mateixos departaments de planificació disposen. Aquestes són per tant, les xarxes de vols creades per ells mateixos on s'hi inclouen les rotacions.

Per poder obtenir l'indicador de Handling Efficiency s'ha treballat amb dades reals de la companyia Ryanair i, s'ha demostrat que seguint un procediment, l'aplicació d'aquest indicador és totalment viable i possible. El procediment marcat pretén orientar als equips de planificació per tal que obtinguin aquest valor i el tinguin en compte per prendre decisions. El procediment marcat és el següent:

- 1) Creació de les diferents xarxes de vols que es volen analitzar i valorar
- 2) Obtenció de les corbes de distribució de vols
- 3) Càlcul de l'indicador HE per a cada una de les xarxes

Amb aquest procediment els equips de planificació de les diferents companyies podrien obtenir el Handling Efficiency per a cada una de les xarxes que es vulguin analitzar i valorar.

De les diferents xarxes que s'han estudiat en aquest projecte la més beneficiosa, i amb diferència, ha sigut la xarxa en la que es reduïa l'estacionalitat horària. Això es deu a que reduir l'estacionalitat implica també reduir la curtosi. Per tant, les millors xarxes que es poden idear són aquelles en que l'estacionalitat i la curtosi siguin baixes, o el que seria el mateix, que no hi hagi grans pics.

Es troba important remarcar també que l'indicador HE no només permet determinar quina de les opcions que s'estudia és més eficient, sinó que també permet quantificar aquesta eficiència. La quantificació és en forma de costos, per tant, comparant cada una de les xarxes que es proposen es pot obtenir l'estalvi que representa.

Resumidament, l'indicador de Handling Efficiency (HE) permet crear, en molt poc temps, un valor que determina l'eficiència d'una xarxa de vols i permet calcular-ne els costos de Handling associats. És per això que es considera que si una companyia adoptés aquest sistema de predicció d'eficiència i costos de Handling, podria assolir estalvis importants en aquest serveis en les següents temporades.

Tenint en compte la situació pandèmica mundial que estem vivint actualment, aquests possibles estalvis poden significar una esperança per a moltes companyies. A través d'una senzilla fórmula poden calcular els costos associats de les diferents xarxes que es plantegen per les temporades següents. Així doncs poden predir els costos de Handling que els suposarà cada una de les xarxes i, en funció d'això, prendre diverses decisions. Aquestes decisions poden comportar més inversió en seguretat cara al passatger, rebaixes de preus per tornar a fer atractiu volar o manteniment i millora de serveis.

Es troba important remarcar, també, que aquest projecte s'ha realitzat analitzant les dades de la companyia Ryanair, però és extrapolable a qualsevol altre aerolínia que disposi de servei d'auto-handling. Dit d'una altra manera, és un indicador que pot servir a totes aquelles companyies que es gestionin elles mateixes el Handling i no el contractin a empreses externes. Poden ser exemples d'aquest cas les companyies Ryanair mateix, Norwegian, Easy-Jet o Vueling.

Si és cert que per realitzar l'estudi també s'han obviat moltes limitacions en quant a moviment d'horaris relatiu als *slots*, per exemple. També és cert que no se sap encara amb claredat ni quan ni com es sortirà d'aquesta crisi. Al sortir d'aquesta crisi possiblement hi hagi una quantitat de *slots* alliberats, fet que permetria més mobilitat horària a les companyies, per tant, més possibilitats de crear xarxes diferents. Tot i això, les xarxes que s'han proposat totes tenen canvis de, com a molt, 30 minuts. Aquesta finestra de 30 minuts es considera una finestra més o menys fàcil de poder obtenir *slots*.

Tenint en compte totes les consideracions exposades, aquesta situació de crisi es considera un moment idoni per la implementació d'aquest indicador i el seu procés corresponent d'obtenció. Així com l'avaluació i consideració dels resultats que aquest aportari per la companyia.

Capítol 6. Propers passos

Un cop comprovat que la creació d'una relació entre la gestió de recursos a l'aeroport (Handling) i la planificació és possible i quantificable econòmicament, toca crear aquest procés per a tota una temporada.

Cal recordar i destacar que s'ha treballat amb dades d'un sol dia per ambdues temporades. Aquest estudi s'hauria de realitzar per una temporada completa i així actualitzar els valors de la fórmula per a cada temporada i companyia. És per això que s'ha decidit crear un procediment de següents passos a realitzar per a les companyies.

Primerament recuperar una xarxa de vols, per a cada una de les temporades, prèvies a la Covid. Es prefereix realitzar l'estudi amb xarxes prèvies a l'epidèmia per així poder quantificar l'indicador amb números relatius a una bona temporada, sense alteracions externes al propi funcionament de la companyia.

Seguidament, realitzar l'estudi d'optimització, obtenir les dades d'aquestes optimitzacions i utilitzar-les per l'estudi de regressió lineal de variables múltiples. Amb el resultat d'aquest estudi, verificar que les dades considerades significatives siguin les mateixes i establir els nous coeficients per a calcular l'indicador de Handling Efficiency.

Finalment, calcular l'indicador per a la temporada analitzada o d'altres de ja passades i comparar el cost obtingut amb el cost real. D'aquesta forma saber com de precisa és l'aproximació de costos i, així, poder tenir en compte aquesta precisió per a futurs estudis.

Si es segueixen aquests passos es podria establir una fórmula de Handling Efficiency per a cada temporada i per a cada companyia que permetria calcular i predir els costos de Handling associats a cada una de les xarxes que s'estudiïn.

Bibliografia

- [1] «Airline Schedule Development - PDF Free Download». <https://docplayer.net/10877876-Airline-schedule-development.html> (accedido ene. 26, 2021).
- [2] Jose M. Sallan, Oriol Lordan, y Vicenç Fernandez, «Modeling and solving linear programming with R». OmniaScience, 2015, [En línea]. Disponible en: <https://www.omniascience.com/books/index.php/scholar/catalog/book/34>.
- [3] «RPubs - Regresión lineal simple». <https://rpubs.com/joser/RegresionSimple> (accedido ene. 26, 2021).
- [4] «RPubs - Regresión Lineal Múltiple en R». https://rpubs.com/Joaquin_AR/226291 (accedido ene. 26, 2021).
- [5] Flightradar24, «Live Flight Tracker - Real-Time Flight Tracker Map», *Flightradar24*. <https://www.flightradar24.com/data/airlines/fr-ryr> (accedido ene. 26, 2021).