

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

Análisis de la asignación de servicios a repartidores de última milla

Autor: Ana Espinosa Molina

Tutor: Jesús Muñuzuri Sanz

**Dpto. de Organización Industrial y Gestión de
Empresas II**

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Sevilla, 2023



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

Análisis de la asignación de servicios a repartidores de última milla

Autor:

Ana Espinosa Molina

Tutor:

Jesús Muñuzuri Sanz

Catedrático de Universidad

Dpto. de Organización Industrial y Gestión de Empresas II

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2023

Trabajo Fin de Grado: Análisis de la asignación de servicios a repartidores de última milla

Autor: Ana Espinosa Molina

Tutor: Jesús Muñuzuri Sanz

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2013

El Secretario del Tribunal

A mi familia, por su paciencia y apoyo durante todos estos años de estudio.

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a Jesús Muñuzuri, por haber cumplido su función de tu tutor a la perfección, con absoluta disponibilidad y ayuda en todo momento que lo he necesitado.

A mis amigos, pero en especial a mis compañeras de RSH que han vivido conmigo todas las etapas posibles de este grado, haciendo los momentos difíciles mucho más llevaderos.

En último lugar, no puedo olvidarme de mi familia. Mención especial a mi madre, padre y hermano por ese apoyo incondicional y motivación durante todo este viaje.

Muchísimas gracias por estar siempre.

Ana Espinosa Molina

Sevilla, 2023

Resumen

Este documento refleja el proceso de reparto de última milla de una empresa anónima en la ciudad de Madrid. El objeto de estudio de este trabajo consiste en determinar el número de servicios que hay que asignar a un repartidor concreto, dependiendo del total de repartos que deba realizar cada día. Para ello, se ha puesto el foco del problema en dos tipos de retrasos que se pueden tener. El primero, son aquellos retrasos en los que no es posible realizar la entrega y el servicio queda aplazado para el día siguiente y, el segundo de ellos, son todos los servicios en los que los clientes son avisados de forma errónea con la hora o el día de su llegada. De modo que, para llevar a cabo este desarrollo, se ha tenido en cuenta distintas penalizaciones con el fin de dar una prioridad diferente a cada uno de los dos tipos de retrasos que se acaban de mencionar, obteniendo una solución final en la que el número óptimo que se busca es el equilibrio entre ambas penalizaciones. Tras todo este proceso, se comentarán los resultados obtenidos y se realizará un análisis de sensibilidad para determinar cómo cambian las soluciones ante cualquier variación que pudiera suceder.

Los datos utilizados en el presente trabajo son reales, recogidos por la propia empresa durante un periodo de tiempo. Con esto, se busca conseguir una solución fiable y aplicable para los trabajadores de la compañía.

Abstract

This document reflects the last mile delivery process of a public limited company in the city of Madrid. The object of study of this paper is to determine the number of services to be assigned to a specific delivery driver, depending on the total number of deliveries to be carried out each day. To do this, the problem is focused on two types of delays that can occur. The first are those delays in which it is not possible to make the delivery and the service is postponed to the following day, and the second are all those services in which customers are incorrectly notified of the time or day of their arrival. Thus, to carry out this development, different penalties have been considered to give a different priority to each of the two types of delays just mentioned, obtaining a final solution in which the optimal number sought is the balance between both penalties. After all this process, the results obtained will be discussed and a sensitivity analysis will be carried out to determine how the solutions change in the event of any variation that may occur.

The data used in this work are real, collected by the company itself over a period. With this, the aim is to achieve a reliable and applicable solution for the company's employees.

Índice

Agradecimientos	ix
Resumen	xi
Abstract	xiii
Índice	xiv
Índice de Tablas	xv
Índice de Ilustraciones	xvi
Notación	xviii
1 Introducción y objetivo	1
1.1. <i>Introducción y objetivo</i>	1
1.2. <i>Estructura del trabajo</i>	3
2 Descripción y recogida de datos	5
2.1. <i>Datos conocidos</i>	5
2.2. <i>Organización de datos</i>	7
3 Planteamiento del problema	9
3.1 <i>Servicios realizados y demanda de nuevos servicios con 1 día de plazo</i>	9
3.1.1 <i>Servicios realizados</i>	9
3.1.2 <i>Demanda de nuevos servicios con un día de plazo</i>	10
3.2 <i>Concepto fundamental del problema</i>	11
3.2.1 <i>Servicios avisados erróneamente hoy</i>	11
3.2.2 <i>Retrasos mañana</i>	12
3.2.3 <i>Penalizaciones.</i>	13
4 Resultados obtenidos	15
4.1 <i>Valor de las constantes fundamentales</i>	15
4.1.1 <i>Servicios realizados mañana</i>	15
4.1.2 <i>Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo</i>	17
4.2 <i>Servicios avisados erróneamente hoy</i>	20
4.3 <i>Retrasos mañana.</i>	24
4.4 <i>Resultado final</i>	25
4.5 <i>Limitación de valores</i>	26
5 Análisis de sensibilidad	29
5.1 <i>Caso 1</i>	29
5.2 <i>Caso 2</i>	31
5.3 <i>Caso 3</i>	32
5.4 <i>Resumen del análisis de sensibilidad.</i>	33
6 Conclusiones	34
Referencias	36

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo del día 5 de febrero.	6
Tabla 2. Recogida de datos.	10
Tabla 3. Servicios realizados mañana.	17
Tabla 4. Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo.	20
Tabla 5. Servicios avisados erróneamente hoy.	23
Tabla 6. Ejemplo que destacar de números negativos.	27

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Encuesta comercio online INE. Fuente: Eurostat.	2
Ilustración 2. Crecimiento del comercio online en España en 2022.	2
Ilustración 3. Histograma Servicios Realizados.	10
Ilustración 4. Histograma Demanda de nuevos servicios con 1 día de plazo.	10
Ilustración 5. Ejemplo de solución gráfica.	14
Ilustración 6. Servicios realizados hoy frente a los servicios asignados hoy.	20
Ilustración 7. Servicios avisados erróneamente del día 26 de febrero.	23
Ilustración 8. Retrasos mañana del día 26 de febrero.	25
Ilustración 9. Penalización total del 26 de febrero.	25
Ilustración 10. Servicios avisados erróneamente del día 30 de abril.	27
Ilustración 11. Retrasos mañana sin corregir del día 30 de abril.	28
Ilustración 12. Penalización total correcta del día 30 de abril.	28
Ilustración 13. Gráfica de dispersión de la solución final.	29
Ilustración 14. Gráfica de dispersión de la solución final con servicios no realizados.	29
Ilustración 15. Servicios avisados erróneamente caso 1.	29
Ilustración 16. Retrasos mañana caso 1.	30
Ilustración 17. Penalización total caso 1.	30
Ilustración 18. Servicios avisados erróneamente caso 2.	31
Ilustración 19. Retrasos mañana caso 2.	31
Ilustración 20. Penalización total caso 2.	32
Ilustración 21. Servicios avisados erróneamente caso 3.	32
Ilustración 22. Retrasos mañana caso 3.	33
Ilustración 23. Penalización total caso 3.	33

Notación

A	Servicios asignados hoy, número de servicios que se asignan en el día de hoy al repartidor para su realización.
A*	Valor óptimo de servicios a asignar al repartidor en un día concreto.
CNMC	Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.
D	Demanda de nuevos servicios que llegan mañana con 1 día de plazo, aquellos servicios que son ordenados de forma nueva y cuya entrega se ha de realizar en 24 horas o menos.
INE	Instituto Nacional de Estadísticas.
P(D)	Probabilidad de que se lleve a cabo un número concreto de demanda de nuevos servicios que llegan mañana con un día de plazo
P(S)	Probabilidad de que se lleve a cabo un número concreto de servicios realizados.
S	Servicios realizados, aquellos servicios que el repartidor entrega con éxito a los clientes durante su jornada laboral.

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO

El propósito de este primer capítulo es la descripción del objetivo que se persigue con el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado, abordando la situación de partida, la problemática en la que se centra y la meta que se pretende alcanzar. También contiene una breve explicación de la estructura seguida a lo largo de la realización de la memoria.

1.1. Introducción y objetivo

En primer lugar, para entender todo el problema al que se va a hacer frente en este documento, hay que definir un concepto imprescindible, cuyo significado es la clave de todo esto. Se conoce como reparto de última milla a la administración de transporte de paquetería focalizada en el trayecto donde se realiza la entrega final. Es decir, es el último paso en la cadena de suministro de un producto o servicio, cuando se le otorga al consumidor.

El objetivo fundamental de esta logística es realizar el servicio lo antes posible para lograr la satisfacción del cliente. Sin embargo, aquí es donde surge el principal problema de la “última milla”: es de esperar en el proceso de reparto de mercancías, sobre todo, en zonas urbanas, que se produzcan retrasos debido a una serie de causantes externos que resultan casi imposibles de controlar. Estos factores son, entre otros, el hecho de que este negocio se encuentra sujeto a fluctuaciones estacionales como Navidad o, un ejemplo muy bueno recientemente vivido, el COVID-19, en las que los volúmenes de paquetes son extremadamente altos; o, la dificultad de la entrega debido a la congestión de tráfico o al limitado espacio de aparcamiento.

Por otro lado, otro hecho que se ha de mencionar es que hay una imprevisibilidad muy alta por parte de los propios clientes. Estos pueden no encontrarse en el lugar de entrega indicado a una hora determinada, haber registrado una dirección incompatible o con falta de datos o haber cambiado la información en el último momento. Esto hace que muchas empresas de reparto dejen la mercancía en la puerta o con los vecinos, lo que es bastante cuestionable desde el punto de vista de responsabilidad del negocio. Además, si al llegar a casa, el cliente en lugar del paquete encuentra un mensaje de entrega fallida y un establecimiento de recogida, supone un inconveniente más para el cliente y una mala impresión de la empresa por su parte.

Un factor clave para esta logística que se debe destacar y que se ha comentado muy brevemente, es el ya conocido COVID-19. Es un suceso real que el confinamiento ha marcado un antes y un después para el comercio online, el cual ha crecido de forma extraordinaria hasta el día de hoy. De hecho, en la ilustración que se muestra a continuación, se puede observar como a partir de una encuesta realizada por INE (Instituto Nacional de Estadísticas), el comercio electrónico empieza a sufrir un importante ascenso teniendo su punto de inflexión en marzo de 2020, mes en el que comenzó la cuarentena.

Ventas del comercio minorista en España según canal, en el primer semestre de 2020

(2015=100, serie corregida de efectos estacionales y de calendario)

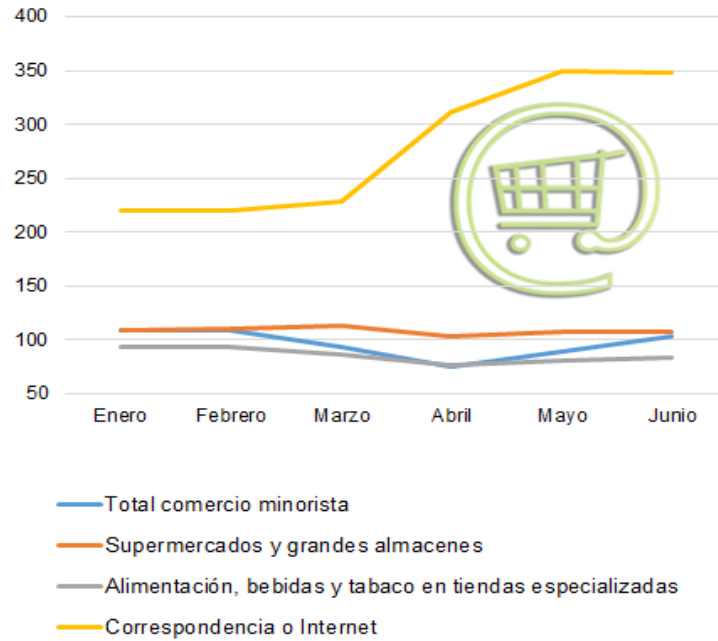
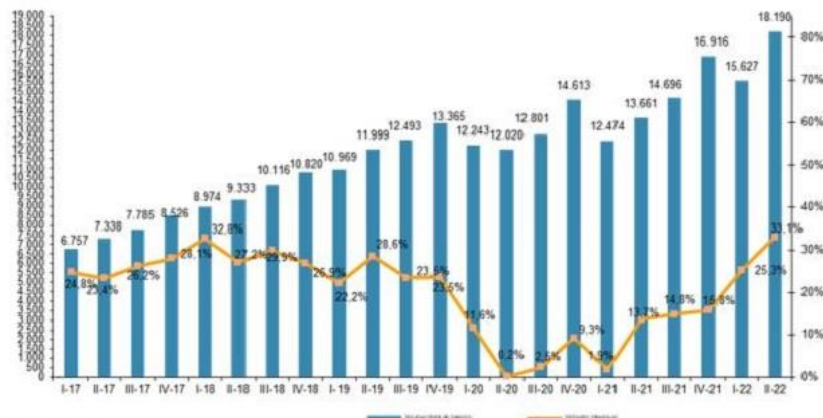


Ilustración 1. Encuesta comercio online INE. Fuente: Eurostat.

Y este suceso no se frena aquí, si no que sigue aumentando hasta el punto en el que, en 2022, el comercio electrónico convierte a España en uno de los países con mayor auge en este sector de venta online. En concreto, según la CNMC (Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia), el país superó los 18000 millones de euros suponiendo un crecimiento de un 33% más que el año anterior.

EVOLUCIÓN TRIMESTRAL DEL VOLUMEN DE NEGOCIO DEL COMERCIO ELECTRÓNICO Y VARIACIÓN INTERANUAL (millones de euros y porcentaje)



Fuente: CNMC

Ilustración 2. Crecimiento del comercio online en España en 2022.

Además, según un estudio de expertos realizado por Webloyalty, empresa de marketing online, este hecho seguirá ocurriendo durante el presente año 2023 hasta crecer un 20% más, convirtiendo a España en el tercer país con mayor facturación de venta online.

Un último dato interesante que comentar sobre el comercio online y todo lo que conlleva es que, el cliente debe depositar su confianza a la hora de realizar cualquier compra ya que no está viendo el producto de forma física, además de tener que fiarse también de la empresa de reparto. En 2021, se realizó una encuesta en que, según *Showroomprive* y *Comercio Online*, 7 de cada 10 consumidores confirman tener absoluta confianza en todo este comercio, además de comentar que les resultaba mucho más cómodo realizar la compra desde casa, aunque no vieran el producto que ir a la tienda física. Los 3 clientes restantes de esos 10 afirman haber tenido algún tipo de problemas de los mencionados en este apartado de introducción, es decir, fallo en el plazo de envío o entrega final.

Por tanto, en una época en la se está digitalizando y automatizando gran parte del mundo, el reparto de última milla es un foco esencial para el desarrollo de los comercios en particular y de las ciudades en general. Sin embargo, hoy en día, es el transporte menos estudiado y no existen políticas públicas de aseguramiento de repartos de forma óptima, considerando las diferentes dificultades que todo esto implica.

En este contexto, el presente documento se enfoca en la optimización del número de servicios de un repartidor concreto teniendo en cuenta distintitos tipos de penalizaciones que se van a mencionar de forma muy breve en este apartado. El estudio se encuentra desarrollado en la ciudad de Madrid, con datos reales pertenecientes a una empresa anónima que sufre todos los problemas que conlleva el reparto de última milla.

Al tratarse de datos reales que se ven afectados directamente por factores externos muy difíciles de controlar, no existe un método exacto para realizar de forma eficiente la entrega de los productos. La idea de este informe es, en primer lugar, ordenar los datos que la empresa nos proporciona para tener una visión más clara del número completo de servicios que el repartidor debe realizar cada día. Una vez todo organizado, se pretende realizar una clasificación de los servicios según el tipo de retraso que tenga respecto a la entrega al cliente, para una posterior asignación de penalizaciones con las que se jugará dándole distintos valores.

El objetivo final de esta agrupación es obtener dos gráficas. En la primera se mostrará una curva que se basará en equilibrar las distintas penalizaciones cuyo mínimo será el número óptimo de servicios que el repartidor deberá realizar cada día. La segunda consistirá en una gráfica final donde la meta será asociar todos los resultados obtenidos en la primera gráfica con el total de entregas que tiene que realizar el trabajador según el día. De esto modo, la empresa tendrá en un solo vistazo, qué cantidad de servicios debe realizar según un número determinado de entregas para que su trabajo sea lo más idóneo posible.

1.2. Estructura del trabajo

Para finalizar este punto, se va a describir de forma breve la manera en la que se ha dividido el documento. En primer lugar, en el capítulo 2 se va a desarrollar la descripción inicial del problema, donde se encontrarán los datos que se conocen desde un principio y la forma en la que se han organizados estos mismos. Una vez finalizado este segundo punto, en el capítulo 3 se procederá al planteamiento del problema, donde se expondrá la metodología empleada para llegar a la meta que se está buscando, definiendo todas la variables y expresiones necesarias para que, en un capítulo 4, se trabaje con todo lo planteado en el caso específico que se está estudiando, así como el procedimiento

seguido para llegar a una solución factible.

Una vez hecho esto, en el capítulo 5, se realizará un análisis de sensibilidad para medir el impacto que pueden provocar las penalizaciones dando distintos resultados y, por último, el capítulo 6 recogerá un resumen y las principales conclusiones a las que se han llegado a partir de la realización de todo este Trabajo de Fin de Grado.

2 DESCRIPCIÓN Y RECOGIDA DE DATOS

Para resolver el problema de reparto de última milla, ya se ha mencionado en la introducción de este documento que no existe una metodología exacta a través de la cual se llegue a una única solución factible. De modo que, el presente capítulo trata el planteamiento del problema a desarrollar centrándose en primer lugar en la descripción de cada dato usado para la posterior especificación de las expresiones que van a dar sentido al método. Una vez se encuentre todo bien detallado, se expondrá el modelo planteado de forma genérica, así como la forma en la que se lleva a cabo la obtención de resultados.

2.1. Datos conocidos

En este subapartado se procede a la explicación de cada variable que se va a usar para el desarrollo del problema descrito en este documento. En primer lugar, la empresa proporciona el historial de un único repartidor de donde se sustraen los campos necesarios:

- **Id_paquete:** identificador de un servicio.
- **Fecha:** día de actualización del estado de un servicio.
- **Tipo_estado:** 5 – servicio no completado (incidencia)/ 6 – servicio completado
- **Tipo_servicio:** plazo de entrega/recogida de un servicio (en horas)
- **Nuevo_envío:** 1 – primer día que se adjudica un servicio / 0 – si no

Por tanto, se ha realizado una tabla en Excel recogiendo todos los datos para obtener una visión más clara de cada día que se va a estudiar en el posterior capítulo. En la mencionada tabla, se muestra en color rojo los servicios no completados y que, por tanto, suponen ya un retraso en ese día; en color amarillo aquellos que hay que realizar en 24 horas o menos y, en morado, todo servicio cuya adjudicación se ha asignado ese mismo día, siendo nuevas entregas que realizar.

ID_PAQUETE	FECHA_ESTADO	TIPO_ESTADO	TIPO_SERVICIO	NUEVO_ENVÍO
4308335	05/02/2021	5	24	0
4438990	05/02/2021	6	48	1
4437062	05/02/2021	6	48	1
4438817	05/02/2021	6	48	1
4432644	05/02/2021	6	19	1
1887588	05/02/2021	5	24	0
4437161	05/02/2021	6	48	1
4435973	05/02/2021	6	48	1
1890275	05/02/2021	6	24	1
4426537	05/02/2021	5	48	0
4432850	05/02/2021	6	19	1
4432847	05/02/2021	6	19	1
4432848	05/02/2021	6	19	1
4432849	05/02/2021	6	19	1

4398597	05/02/2021	6	24	0
4428230	05/02/2021	6	24	0
4430969	05/02/2021	6	19	1
1850949	05/02/2021	5	24	0
4438827	05/02/2021	6	48	1
4431727	05/02/2021	6	19	1
4438036	05/02/2021	6	48	1
4436874	05/02/2021	6	48	1
4436515	05/02/2021	6	48	1
4356990	05/02/2021	5	24	0
4436506	05/02/2021	5	48	1
1879531	05/02/2021	5	24	0
4412252	05/02/2021	6	48	0
4436656	05/02/2021	5	48	1
4436920	05/02/2021	6	48	1
4432945	05/02/2021	6	19	1
1890397	05/02/2021	6	24	1
1887327	05/02/2021	5	24	0
4412901	05/02/2021	5	48	0
4436937	05/02/2021	5	48	1
4426709	05/02/2021	6	48	0
4422580	05/02/2021	6	19	1
4424496	05/02/2021	6	19	1
4425069	05/02/2021	6	19	1
4425070	05/02/2021	6	19	1
4433185	05/02/2021	6	19	1
4438967	05/02/2021	6	48	1
4438956	05/02/2021	6	48	1
4438818	05/02/2021	6	48	1
4437944	05/02/2021	6	48	1
4437319	05/02/2021	6	48	1
4437124	05/02/2021	6	48	1
4433255	05/02/2021	6	19	1

Tabla 1. Ejemplo del día 5 de febrero.

Como se puede observar en el ejemplo adjunto, el día 5 de febrero hay que realizar 47 servicios totales, de los cuales no se entregan 11, 35 pedidos son de nuevo servicio y 16 tienen un día de plazo para ser repartidos.

De este modo, se ha realizado la tabla completa con 168 días que se disponen de datos, desde el 1 de febrero de 2021 hasta el 1 de octubre de 2021, sin contar con fines de semana ni festivos.

2.2. Organización de datos

Una vez finalizada la tabla descrita en el subapartado anterior, se han recogido los datos necesarios en otra tabla, la cual se muestra de la siguiente forma:

	N.º total servicios	Servicios no entregados	Nuevos servicios	Con 1 día de plazo
01/02/2021	97	9	87	72
02/02/2021	133	14	126	98
03/02/2021	37	7	31	19
04/02/2021	52	10	49	39
05/02/2021	47	11	35	16
08/02/2021	93	5	91	82
09/02/2021	7	7	6	2
10/02/2021	3	3	2	1
11/02/2021	50	7	42	25
12/02/2021	10	2	8	1
15/02/2021	36	5	36	1
16/02/2021	28	6	22	6
17/02/2021	76	15	73	42
18/02/2021	33	7	30	14
19/02/2021	35	6	26	8
22/02/2021	89	14	86	55
23/02/2021	75	21	69	30
24/02/2021	66	10	59	32
25/02/2021	41	4	40	25
26/02/2021	95	24	86	52
01/03/2021	37	3	19	14
02/03/2021	48	12	44	9
03/03/2021	57	8	51	39
04/03/2021	28	4	26	10
05/03/2021	25	2	21	7
09/03/2021	1	1	1	1
11/03/2021	9	4	8	6
12/03/2021	43	8	38	14
15/03/2021	36	5	33	13
16/03/2021	77	4	73	50
18/03/2021	2	2	0	0
22/03/2021	15	15	1	0
23/03/2021	24	8	24	10
24/03/2021	14	6	9	8
25/03/2021	56	10	44	27
26/03/2021	9	3	7	0
29/03/2021	33	3	30	12
30/03/2021	7	2	7	5

31/03/2021	10	3	10	9
05/04/2021	60	32	42	19
06/04/2021	50	15	40	8
07/04/2021	47	3	36	18
08/04/2021	30	8	26	13
09/04/2021	12	2	10	6
12/04/2021	27	11	21	12
13/04/2021	8	5	5	3
14/04/2021	14	5	7	3
15/04/2021	20	3	19	14
16/04/2021	39	5	36	17
19/04/2021	44	8	73	15
20/04/2021	20	6	18	10
21/04/2021	36	15	34	8
22/04/2021	41	13	25	13
23/04/2021	25	5	20	9
26/04/2021	61	13	53	34
27/04/2021	38	8	36	33
28/04/2021	62	5	50	41
29/04/2021	31	5	26	15
30/04/2021	23	11	22	17
04/05/2021	95	47	90	68
05/05/2021	172	62	109	62
06/05/2021	50	8	16	8
07/05/2021	63	15	2	2
10/05/2021	6	3	6	3
11/05/2021	33	10	31	22
12/05/2021	100	9	84	82
13/05/2021	67	3	62	56
14/05/2021	100	21	90	76
17/05/2021	59	8	51	31
18/05/2021	101	15	95	82
19/05/2021	92	17	77	69
20/05/2021	76	9	65	55
21/05/2021	45	8	41	27
24/05/2021	135	7	129	111
25/05/2021	86	22	82	71
26/05/2021	99	16	83	72
27/05/2021	99	9	83	71
28/05/2021	91	11	87	71
31/05/2021	116	20	110	87
01/06/2021	171	31	162	130
02/06/2021	128	21	95	89
03/06/2021	106	16	89	69
04/06/2021	52	8	47	41
07/06/2021	129	9	118	98

08/06/2021	123	13	116	78
09/06/2021	58	10	47	40
10/06/2021	111	16	100	86
11/06/2021	70	13	67	58
14/06/2021	109	35	97	81
15/06/2021	130	13	115	99
16/06/2021	134	20	120	109
17/06/2021	101	13	89	75
18/06/2021	103	10	99	91
21/06/2021	168	13	165	143
22/06/2021	109	24	93	78
23/06/2021	141	24	120	93
24/06/2021	133	16	120	103
25/06/2021	106	15	97	87
28/06/2021	185	38	179	161
29/06/2021	180	32	153	121
30/06/2021	150	22	133	113
01/07/2021	138	26	117	102
02/07/2021	124	21	106	89
05/07/2021	205	28	192	171
06/07/2021	146	26	137	113
07/07/2021	141	29	124	105
08/07/2021	145	19	110	99
09/07/2021	147	38	117	101
12/07/2021	110	42	80	60
13/07/2021	77	10	59	46
14/07/2021	88	18	74	54
15/07/2021	55	7	44	36
16/07/2021	91	21	88	73
19/07/2021	98	42	86	59
20/07/2021	138	53	111	78
21/07/2021	117	20	69	54
22/07/2021	86	24	76	50
23/07/2021	94	18	73	56
26/07/2021	111	19	96	69
27/07/2021	118	24	107	84
28/07/2021	80	12	66	52
29/07/2021	65	5	57	49
30/07/2021	55	13	48	37
02/08/2021	95	17	85	65
03/08/2021	103	32	94	63
04/08/2021	76	22	48	34
05/08/2021	78	19	62	48
06/08/2021	62	15	45	35
09/08/2021	31	29	31	26
10/08/2021	88	21	71	44

11/08/2021	74	12	61	41
12/08/2021	63	15	54	40
13/08/2021	68	16	63	43
16/08/2021	70	23	63	40
17/08/2021	93	31	82	44
18/08/2021	85	24	62	44
19/08/2021	93	21	77	49
20/08/2021	85	15	69	49
23/08/2021	107	24	99	82
24/08/2021	115	23	94	71
25/08/2021	75	24	58	39
26/08/2021	55	12	45	35
27/08/2021	8	8	6	6
30/08/2021	71	21	54	26
31/08/2021	87	15	82	58
01/09/2021	76	11	58	49
02/09/2021	64	9	63	39
03/09/2021	61	5	54	44
06/09/2021	98	15	92	62
07/09/2021	112	37	101	72
08/09/2021	111	18	76	60
09/09/2021	81	10	65	44
10/09/2021	73	0	72	56
13/09/2021	86	16	86	59
14/09/2021	103	27	89	54
15/09/2021	89	9	78	57
16/09/2021	71	15	63	40
17/09/2021	93	16	85	63
20/09/2021	121	25	111	83
21/09/2021	127	19	107	71
22/09/2021	86	22	73	52
23/09/2021	105	14	88	67
24/09/2021	78	16	70	47
27/09/2021	72	9	60	52
28/09/2021	111	23	108	70
29/09/2021	85	10	69	54
30/09/2021	99	11	93	65
01/10/2021	71	14	63	57

Tabla 2. Recogida de datos.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Para alcanzar el objetivo propuesto en este análisis de la asignación de servicios a repartidores de última milla, se ha llevado a cabo una serie de tomas de decisiones con el fin de implementar una metodología que optimice el número de servicios que debe hacer el repartido cada día, teniendo en cuenta las entregas que incumple que dejan a la empresa en evidencia ante los clientes.

En este sentido, este capítulo se centra en describir el procedimiento utilizado para resolver los problemas abordados, focalizándose primeramente en la obtención de las variables consideradas necesarias para su posterior desarrollo desde un punto de vista genérico.

3.1 Servicios realizados y demanda de nuevos servicios con 1 día de plazo

Para empezar, se decide que hay dos variables imprescindibles para lograr la meta de este problema y cuyo valor es posible calcular a partir de los datos recogidos en la tabla 2. La primera se denomina *Servicios Realizados* y son todas aquellas entregas que el trabajador es capaz de llevar a cabo cada día de su jornada. La otra variable se va a llamar *Demanda de nuevos servicios con un día de plazo* y se refiere a todos aquellos servicios que llegan nuevos y que hay que entregar dentro de un plazo de 24 horas o menos.

Una vez definidos ambos conceptos, se va a realizar el cálculo de sus valores para cada uno de los 168 días que se tienen como datos del problema, para una posterior representación de su correspondiente histograma.

3.1.1 Servicios realizados

Como se acaba de mencionar, este concepto se refiere a aquellos servicios que el repartidor entrega con éxito a los clientes durante su jornada laboral. La expresión necesaria para el cálculo de los *Servicios realizados* tan solo sería la diferencia entre el número total de servicios que el trabajador debe llevar a cabo cada día y los servicios que no es capaz de entregar por algún tipo de retraso de los comentados en la introducción de este documento. Esta variable se representa con la letra S y su fórmula quedaría de la siguiente manera:

$$S = N^{\circ} \text{ total servicios} - \text{Servicios no entregados} \quad (1)$$

Ejemplo 3.1.1. El día 5 de febrero de 2021, el número total de servicios es 47 y no han podido realizar 11 entregas.

$$S = 47 - 11 = 36 \text{ servicios}$$

De modo que, el día 5 de febrero se han realizado 36 servicios con éxito.

Una vez se ha calculado para cada día que se dispone, se representa en un histograma que se muestra a continuación:

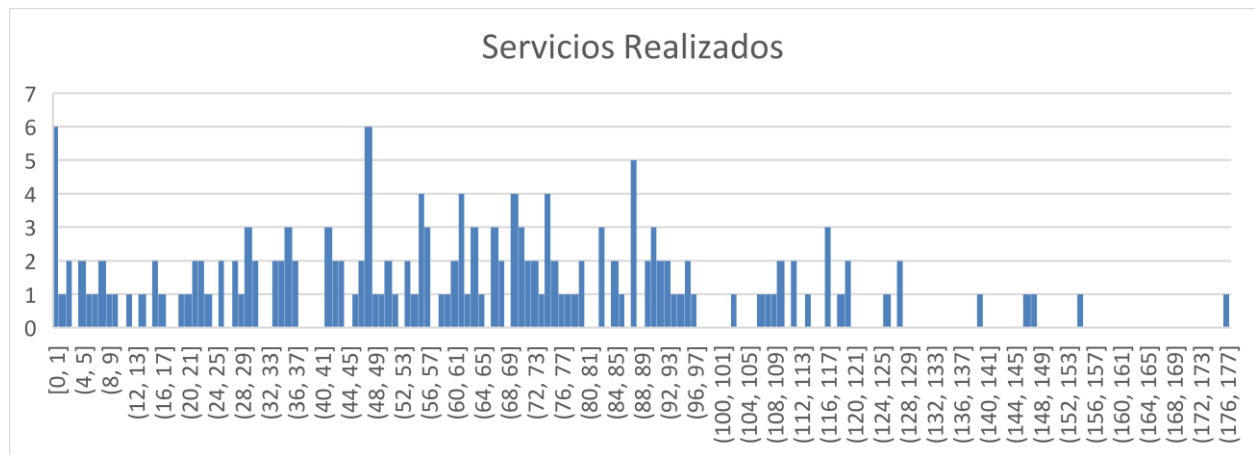


Ilustración 3. Histograma Servicios Realizados.

En el histograma mostrado se representa la frecuencia con la que se producen los *Servicios Realizados*, por ejemplo, la primera barra representa que hay 6 días en los que se realizan 0 servicios; y, la siguiente representa que hay un día en el que se realiza 1 servicio. Por tanto, de este modo, se obtiene la probabilidad que hay de que se lleve a cabo un número concreto de servicios.

Es a partir de este mismo histograma de donde se obtiene una constante que se va a necesitar en el siguiente capítulo y que se va a denominar *Servicios realizados mañana*.

3.1.2 Demanda de nuevos servicios con un día de plazo

En el caso de esta variable, que se refiere a todos aquellos servicios que son ordenados de forma nueva y cuya entrega se ha de realizar en 24 horas o menos, no hace falta ninguna expresión para obtenerla ya que se ha sacado directamente de los datos que ha proporcionado la empresa. Por tanto, para seguir con el ejemplo usado en el anterior subapartado, el día 5 de febrero de 2021 se puede observar en la tabla 2 que hay 35 nuevos servicios de los cuales 16 tienen un día de plazo.

De igual forma que para los *Servicios realizados*, el histograma para esta variable se muestra a continuación:

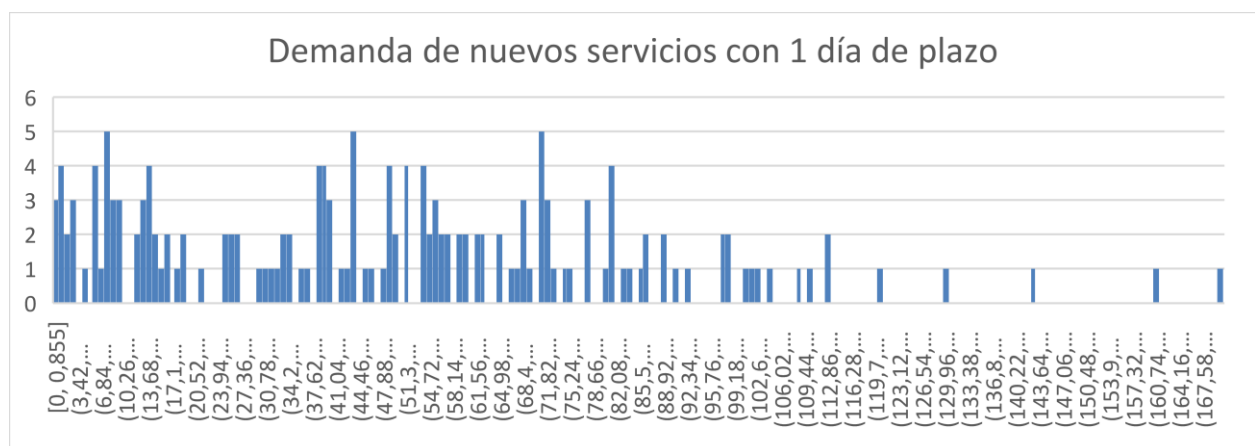


Ilustración 4. Histograma Demanda de nuevos servicios con 1 día de plazo.

Y, es también a partir de este otro histograma, de donde se obtiene la segunda constante necesaria que se va a necesitar en el próximo capítulo y cuya denominación es *Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo*.

3.2 Concepto fundamental del problema

La base de todo este análisis se focaliza en dos conceptos fundamentales. El primero de ellos se denomina *Servicios avisados erróneamente hoy* y reúne a todas aquellas entregas que tras haber avisado al consumidor de su llegada a una hora ese mismo día, el trabajador no consigue llevar a cabo el servicio en el tiempo indicado por algún tipo de inconveniente. La otra variable primordial se llama *Retrasos mañana* y son todos los servicios que no llegan al cliente en la fecha prevista por lo que le supondrá a la empresa un retraso que deberá entregar al día siguiente.

A la hora de realizar un servicio, como ya se ha mencionado en la Introducción, surgen diversos obstáculos que son muy difíciles de controlar y que hacen que el repartidor tenga problemas para realizar su entrega con éxito. Este hecho provoca que la empresa quede en mal lugar frente al comprador y que podría conllevar a la pérdida de clientela en un futuro. Por ello es, que se han clasificado estos inconvenientes en los dos conceptos que acabamos de mencionar.

3.2.1 Servicios avisados erróneamente hoy

Los *Servicios avisados erróneamente hoy*, como se acaba de comentar, son aquellos que no se han completado en un tiempo determinado y cuya entrega ha sido avisada al cliente. Analizando esta descripción, se ha llegado a la conclusión de que este concepto se encuentra definido por la diferencia entre el número total de servicios que se le asigna al repartidor en un día concreto y los servicios que es capaz de llevar a cabo con éxito sin ningún tipo de inconveniente ese mismo día:

$$\begin{aligned} \text{Servicios avisados erróneamente hoy} &= \text{Servicios asignados hoy} - \text{Servicios realizados hoy} = \\ &= A - \left[\sum_{s=0}^A S \cdot P(s) + \sum_{s=A+1}^{\infty} A \cdot P(s) \right] \end{aligned} \quad (2)$$

Donde:

- Servicios asignados hoy (A): como ya se ha mencionado en la introducción de este subapartado, se interpreta A como el número de servicios que se asignan en el día de hoy al repartidor para su realización.
- Servicios realizados hoy: se acaba de comentar que son aquellas entregas que el repartidor es capaz de llevar a cabo cada día según el número total de servicios asignados que tenga y vendría representado por la siguiente expresión, que figura la suma de la probabilidad de que un servicio sea capaz de realizarse dependiendo del total de repartos que tenga asignados para cada jornada laboral.

$$\text{Servicios Realizados Hoy} = \sum_{s=0}^A S \cdot P(s) + \sum_{s=A+1}^{\infty} A \cdot P(s) \quad (3)$$

De modo que, para facilitar el cálculo de *Servicios realizados hoy*, se ha creado un código a través de Matlab que muestra en pantalla el resultado dándole distintos valores a la variable A, desde 1 a 177

servicios que se han obtenido como datos del histograma.

```
servicios=zeros(177,1);
for A=1:177
    suma=0;
    for s=1:177
        if s<A
            suma=suma+s*prob(s);
        else
            suma=suma+A*prob(s);
        end
    end
    servicios(A)=suma;
end
```

Es conveniente resaltar que se espera que *Servicios asignados erróneamente hoy* aumente con A, ya que cuantos más servicios tenga el repartidor que entregar hoy, más clientes avisará de forma errónea.

3.2.2 Retrasos mañana

El concepto de *Retrasos mañana* ya se sabe que se refiere a todos los servicios que incumplen el plazo esperado por algún tipo de inconveniente imposible de controlar por parte de la empresa. Según esta descripción, su expresión vendría dada por la diferencia entre el conjunto de servicios que han sufrido un retraso hoy y, por tanto, se encuentren en último día de entrega mañana y los que llegan también mañana con menos de un día de plazo, menos el total de servicios que será capaz de realizar el repartidor mañana. Con este último concepto se pretende encontrar una constante que se denomina *Servicios Realizados mañana*, cuyo resultado se obtiene del sumatorio de probabilidades calculado a partir del primer histograma mostrado en el apartado anterior y, lo que es lo mismo, que el promedio de servicios que puede realizar el repartidor al día.

De este modo, analizando toda esta definición, la expresión principal de este concepto sería:

$$\text{Retrasos mañana} = \text{Servicios en última día mañana} - \text{Servicios realizados mañana} \quad (4)$$

Donde:

- Servicios realizados mañana: constante ya explicada anteriormente y cuyo resultado sale de la *Ilustración 1. Histograma Servicios Realizados*. Su expresión es definida por el sumatorio desde 0 hasta A del número de servicios realizados por su probabilidad.

$$\text{Servicios realizados mañana} = \sum_{S=0}^{\infty} S \cdot P(S) \quad (5)$$

Por otro lado, ya se ha mencionado que los *Servicios en último día* mañana reúne todos aquellos servicios que han sufrido algún tipo de inconveniente hoy y no se ha podido llevar a cabo su entrega, por lo que se tiene que realizar mañana y, también, todos los nuevos que llegan mañana, pero con menos de un día de plazo. Este último concepto que se va a denominar *Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo*, es la segunda constante buscada en el problema y cuyo resultado se obtiene del sumatorio de probabilidades del histograma 2 mostrado previamente. De esto modo, analizando su descripción, la expresión quedaría definida de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Servicios en último día mañana} = & \text{Servicios totales hoy} - \text{Servicios realizados hoy} + \\ & + \text{Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo} \end{aligned} \quad (6)$$

Donde:

- Servicios totales hoy: se refiere a todos los servicios que tiene el repartidor pendiente de entregar un día determinado. Esto incluye a los servicios nuevos que han llegado hoy, a los que llegan en días anteriores, pero todavía se encuentran dentro de plazo y a los que tenía que haber entregado ayer pero no pudo.
- Servicios realizados hoy: como ya se ha explicado en el subapartado anterior, todos aquellos servicios que el repartidor es capaz de entregar según el número de servicios asignados hoy que tenga.
- Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo: segunda constante que también se ha comentado ya y cuya expresión (observando la *Ilustración 2. Histograma Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo*) queda definida por el sumatorio desde 0 hasta infinito de la demanda de nuevos servicios que llegan mañana con 1 día de plazo por su probabilidad.

$$\text{Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo} = \sum_{D=0}^{\infty} D \cdot P(D) \quad (7)$$

Cabe de esperar que, al igual que los *Servicios avisados erróneamente hoy* aumentan con A, es completamente lógico que los *Retrasos mañana* disminuya con A, ya que cuantas más entregas se realicen hoy menos retrasos tendrá el repartidor mañana. Además, esto mismo se puede ver reflejado en las expresiones (4) y (5), donde *Servicios realizados hoy* (que es el valor que aumenta con A) se encuentra restando en la fórmula de *Servicios en último día mañana* que, a su vez, este último se encuentra sumando en la expresión (4).

3.2.3 Penalizaciones.

Para poner fin a este capítulo 3, hay que hablar de las penalizaciones mencionadas de forma muy breve en la introducción del presente documento. Es este subapartado donde se va a desarrollar la idea al completo de cómo se va a aplicar estos pesos.

En primer lugar, se decide que se van a asignar dos tipos de penalizaciones a los dos conceptos fundamentales de este trabajo, es decir, a las variables *Retrasos mañana* y *Servicios avisados erróneamente hoy*. Este peso será mayor para el concepto que se considere más importante, consignándole una menor penalización a la otra variable.

En el caso estudiado, se ha considerado que *Retrasos mañana* debe tener más prioridad que *Servicios avisados erróneamente hoy*. Desde el punto de vista del consumidor, puede provocarle mucho más desagrado el hecho que espere un paquete un día concreto y nunca llegue, a que la empresa le avise con un mensaje equivocado en

la hora o el día. De este modo, una vez aplicados los pesos, se pretende llegar a una gráfica donde, equilibrando ambas penalizaciones frente a los servicios que se la vayan a asignar al trabajador cada día, se muestra como resultado una curva cuyo mínimo es el objetivo buscado. En dicha gráfica, debe suceder lo ya mencionado en el apartado anterior: los *Retrasos mañana* deberán disminuir con A mientras que los *Servicios avisados erróneamente* tienen que aumentar a medida que también aumenta los *Servicios asignados hoy*. A continuación, se va a mostrar un ejemplo de cómo debería quedar idealmente la solución que se busca:

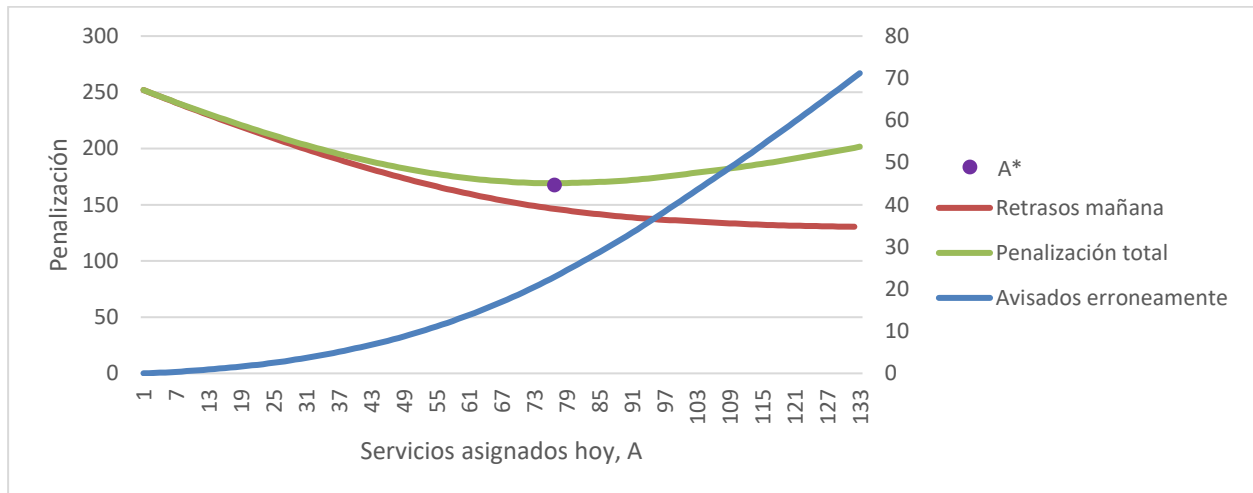


Ilustración 5. Ejemplo de solución gráfica.

La meta a la que se pretende llegar con estos pesos es que, dada las penalizaciones para un determinado número de servicios, se obtenga cuál es el total de entregas que debe realizar el trabajador durante una jornada laboral concreta. Este concepto queda representado por A^* y, como se acaba de mencionar, se define como el valor óptimo de servicios a asignar al repartidor en un día concreto. De modo que, la idea es jugar con ambas penalizaciones para observar cómo cambian los valores e identificar cuál sería la mejor solución para la empresa, proceso que se va a desarrollar posteriormente en un análisis de sensibilidad.

4 RESULTADOS OBTENIDOS

Una vez explicado todo el planteamiento del problema, se procede a comentar los resultados obtenidos, resaltando que ante este caso no hay una sola solución única por lo que, todo lo que se muestra a continuación, es en base a las decisiones tomadas que se han explicado en los anteriores apartados del presente documento.

Por último, una vez ya expuesta la solución de este trabajo, se realizará un análisis de sensibilidad para analizar el posible impacto que puede causar las distintas variaciones con respecto a las penalizaciones ya comentadas que se desarrollaran en el siguiente capítulo.

4.1 Valor de las constantes fundamentales

Para empezar, una vez se ha abordado toda la estructura del problema, lo primero que se ha calculado son los *Servicios realizados mañana* y los *Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo*. Estas constantes, como ya se ha explicado en el capítulo anterior, se obtienen directamente de los datos proporcionado de la empresa y consisten en una media sacada de los dos histogramas mostrados previamente.

4.1.1 Servicios realizados mañana

A	Servicios realizados mañana	A	Servicios realizados mañana
1	0,005952381	90	0
2	0,023809524	91	1,083333333
3	0	92	1,642857143
4	0,047619048	93	1,107142857
5	0,029761905	94	1,119047619
6	0,035714286	95	0,56547619
7	0,083333333	96	0,571428571
8	0,047619048	97	1,154761905
9	0,053571429	98	0,583333333
10	0	99	0
11	0,06547619	100	0
12	0	101	0
13	0,077380952	102	0
14	0	103	0
15	0,178571429	104	0
16	0,095238095	105	0
17	0	106	0
18	0	107	0
19	0,113095238	108	0,642857143
20	0,119047619	109	0,648809524
21	0,125	110	0,654761905
22	0,130952381	111	1,321428571

23	0,273809524	112	0
24	0,285714286	113	1,345238095
25	0,148809524	114	0
26	0	115	0,68452381
27	0,321428571	116	0
28	0	117	0
29	0,345238095	118	2,107142857
30	0,178571429	119	0
31	0,369047619	120	0,714285714
32	0,380952381	121	1,44047619
33	0	122	0
34	0	123	0
35	0,416666667	124	0
36	0,428571429	125	0
37	0,660714286	126	0
38	0,452380952	127	0,755952381
39	0	128	0
40	0	129	1,535714286
41	0	130	0
42	0	131	0
43	0,767857143	132	0
44	0,523809524	133	0
45	0,535714286	134	0
46	0	135	0
47	0,279761905	136	0
48	0,571428571	137	0
49	1,75	138	0
50	0,297619048	139	0
51	0,303571429	140	0
52	0,619047619	141	0,839285714
53	0,31547619	142	0
54	0	143	0
55	0,654761905	144	0
56	0,333333333	145	0
57	1,357142857	146	0
58	1,035714286	147	0
59	0	148	0,880952381
60	0,357142857	149	0,886904762
61	0,363095238	150	0
62	0,738095238	151	0
63	1,5	152	0
64	0,380952381	153	0
65	1,160714286	154	0
66	0,392857143	155	0,922619048
67	0	156	0

68	1,214285714	157	0
69	0,821428571	158	0
70	0	159	0
71	1,69047619	160	0
72	1,285714286	161	0
73	1,303571429	162	0
74	0,880952381	163	0
75	0,446428571	164	0
76	1,80952381	165	0
77	0,916666667	166	0
78	0,464285714	167	0
79	0,470238095	168	0
80	0,476190476	169	0
81	0,964285714	170	0
82	0	171	0
83	0	172	0
84	1,5	173	0
85	0	174	0
86	1,023809524	175	0
87	0,517857143	176	0
88	0	177	1,053571429
89	2,648809524	TOTAL	62,42857143

Tabla 3. Servicios realizados mañana.

Siendo la primera columna los servicios asignados hoy (A), la segunda columna se obtiene de la expresión (5) de este documento. De modo que, el valor de la constante buscada sería:

Servicios realizados mañana = 62,43 servicios

4.1.2 Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo

De igual modo que se ha calculado la constante de *Servicios realizados mañana*, se ha obtenido este segundo valor buscado:

A	Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo	A	Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo
1	0,023809524	101	1,202380952
2	0,023809524	102	0
3	0,053571429	103	0
4	0	104	1,238095238
5	0,029761905	105	0

6	0	106	0,630952381
7	0,166666667	107	0
8	0,047619048	108	0,642857143
9	0,267857143	109	0
10	0,178571429	110	0
11	0,196428571	111	0
12	0	112	0
13	0	113	0
14	0,166666667	114	1,357142857
15	0,267857143	115	1,369047619
16	0,380952381	116	0
17	0,202380952	117	0
18	0,107142857	118	0,702380952
19	0,226190476	119	0,708333333
20	0	120	0,714285714
21	0,125	121	0
22	0,261904762	122	0
23	0	123	0
24	0	124	0
25	0,148809524	125	0
26	0	126	0
27	0	127	0,755952381
28	0	128	0
29	0,345238095	129	0,767857143
30	0,357142857	130	0
31	0,369047619	131	0
32	0	132	1,571428571
33	0	133	0
34	0	134	0
35	0,208333333	135	0
36	0,214285714	136	0
37	0,220238095	137	0
38	0,226190476	138	0
39	0,464285714	139	0
40	0,476190476	140	0
41	0	141	0,839285714
42	0,25	142	0
43	0,255952381	143	0
44	0	144	0
45	1,071428571	145	0
46	1,095238095	146	0
47	0,839285714	147	0
48	0	148	0
49	0,291666667	149	0
50	0,297619048	150	0

51	1,517857143	151	0
52	0	152	0,904761905
53	0,31547619	153	0
54	0,321428571	154	0
55	0	155	0
56	0,333333333	156	0
57	1,357142857	157	0
58	0,69047619	158	0
59	0	159	0
60	1,428571429	160	0
61	0	161	0
62	0	162	0
63	1,5	163	0
64	0,761904762	164	0
65	1,160714286	165	0
66	0,785714286	166	0
67	0,797619048	167	0,994047619
68	0	168	0
69	0,821428571	169	0
70	0,833333333	170	0
71	0	171	0
72	0,857142857	172	0
73	0,869047619	173	0
74	0	174	0
75	0	175	0
76	0,904761905	176	0
77	0	177	0
78	0,464285714	178	0
79	0,470238095	179	0
80	1,428571429	180	0
81	0,482142857	181	0
82	0	182	0
83	2,470238095	183	0
84	1,5	184	0
85	0,505952381	185	0
86	0	186	0
87	0,517857143	187	0
88	0,523809524	188	1,119047619
89	0	189	0
90	0	190	0
91	1,625	191	0
92	0	192	0
93	0	193	0
94	0,55952381	194	0
95	2,261904762	195	0

96	0	196	0
97	0,577380952	197	0
98	0,583333333	198	0
99	0	199	1,18452381
100	0,595238095	TOTAL	56,38095238

Tabla 4. Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo.

Por tanto, teniendo en cuenta que la segunda columna de la tabla mostrada se obtiene de la expresión (7) del presente documento, el valor sería:

Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo = 56,38 servicios
--

4.2 Servicios avisados erróneamente hoy

En primer lugar, se ha calculado a partir del código de Matlab mostrado en el capítulo 3, los *Servicios realizados hoy*. De modo que, al ejecutarlo y representar el vector *servicios*, se obtiene el siguiente resultado:

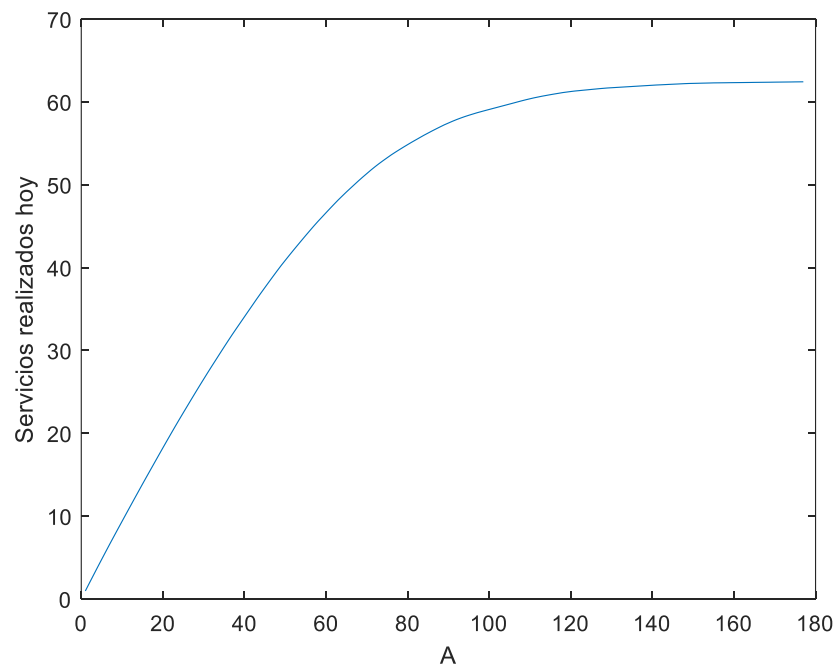


Ilustración 6. Servicios realizados hoy frente a los servicios asignados hoy.

Tal y como se muestra en la expresión (2), el número esperado de servicios a realizar hoy aumenta con A y para valores altos de A tiende a la media de servicios realizados al día (62,43 servicios) ya calculado en el subapartado anterior.

Una vez se tiene los *Servicios realizados hoy*, tan solo queda calcular la diferencia a partir de la expresión (2) y se obtiene los *Servicios avisados erróneamente hoy* para cada valor de A.

A	Avisados erróneamente	A	Avisados erróneamente
1	0,0298	90	32,5476
2	0,0655	91	33,3333
3	0,1131	92	34,131
4	0,1607	93	34,9464
5	0,2202	94	35,7738
6	0,2857	95	36,6131
7	0,3571	96	37,4583
8	0,4405	97	38,3095
9	0,5298	98	39,1726
10	0,625	99	40,0417
11	0,7202	100	40,9107
12	0,8214	101	41,7798
13	0,9226	102	42,6488
14	1,0298	103	43,5179
15	1,1369	104	44,3869
16	1,256	105	45,256
17	1,381	106	46,125
18	1,506	107	46,994
19	1,631	108	47,8631
20	1,7619	109	48,7381
21	1,8988	110	49,619
22	2,0417	111	50,506
23	2,1905	112	51,4048
24	2,3512	113	52,3036
25	2,5238	114	53,2143
26	2,7024	115	54,125
27	2,881	116	55,0417
28	3,0714	117	55,9583
29	3,2619	118	56,875
30	3,4643	119	57,8095
31	3,6726	120	58,744
32	3,8929	121	59,6845
33	4,125	122	60,6369
34	4,3571	123	61,5893
35	4,5893	124	62,5417
36	4,8333	125	63,494
37	5,0893	126	64,4464
38	5,3631	127	65,3988

39	5,6488	128	66,3571
40	5,9345	129	67,3155
41	6,2202	130	68,2857
42	6,506	131	69,256
43	6,7917	132	70,2262
44	7,0952	133	71,1964
45	7,4107	134	72,1667
46	7,7381	135	73,1369
47	8,0655	136	74,1071
48	8,3988	137	75,0774
49	8,744	138	76,0476
50	9,125	139	77,0179
51	9,5119	140	77,9881
52	9,9048	141	78,9583
53	10,3095	142	79,9345
54	10,7202	143	80,9107
55	11,131	144	81,8869
56	11,5536	145	82,8631
57	11,9821	146	83,8393
58	12,4345	147	84,8155
59	12,9048	148	85,7917
60	13,375	149	86,7738
61	13,8512	150	87,7619
62	14,3333	151	88,75
63	14,8274	152	89,7381
64	15,3452	153	90,7262
65	15,869	154	91,7143
66	16,4107	155	92,7024
67	16,9583	156	93,6964
68	17,506	157	94,6905
69	18,0714	158	95,6845
70	18,6488	159	96,6786
71	19,2262	160	97,6726
72	19,8274	161	98,6667
73	20,4464	162	99,6607
74	21,0833	163	100,6548
75	21,7321	164	101,6488
76	22,3869	165	102,6429
77	23,0655	166	103,6369
78	23,756	167	104,631
79	24,4524	168	105,625
80	25,1548	169	106,619
81	25,8631	170	107,6131
82	26,5833	171	108,6071
83	27,3036	172	109,6012

84	28,0238	173	110,5952
85	28,7619	174	111,5893
86	29,5	175	112,5833
87	30,25	176	113,5774
88	31,006	177	114,5714
89	31,7619		

Tabla 5. Servicios avisados erróneamente hoy.

Esta tabla representa que, por ejemplo, cuando se tienen 135 servicios asignados hoy, 73 son avisados erróneamente al cliente; o, para 70 repartos, 18 servicios son los que se avisan de forma equivocada. Hay que resaltar que todas estas soluciones son términos medios de los resultados obtenidos, ya que nunca va a dar un valor exacto de servicios.

Por último, se decide que a esta variable se le va a asignar una penalización de 1, es decir, su valor se multiplica por uno a la hora de obtener la solución que se busca. Esto se debe a que, como ya se ha mencionado en el capítulo anterior, se considera que es bastante menos grave que se avise al comprador erróneamente a que el reparto sufra un retraso.

Para aclarar todo esto que se ha descrito anteriormente, se va a exponer un ejemplo de los 168 días que se han usado para el análisis de este problema.

Ejemplo 4.2.1. El día 26 de febrero de 2021, el número total de servicios que tiene asignado el repartidor es 95.

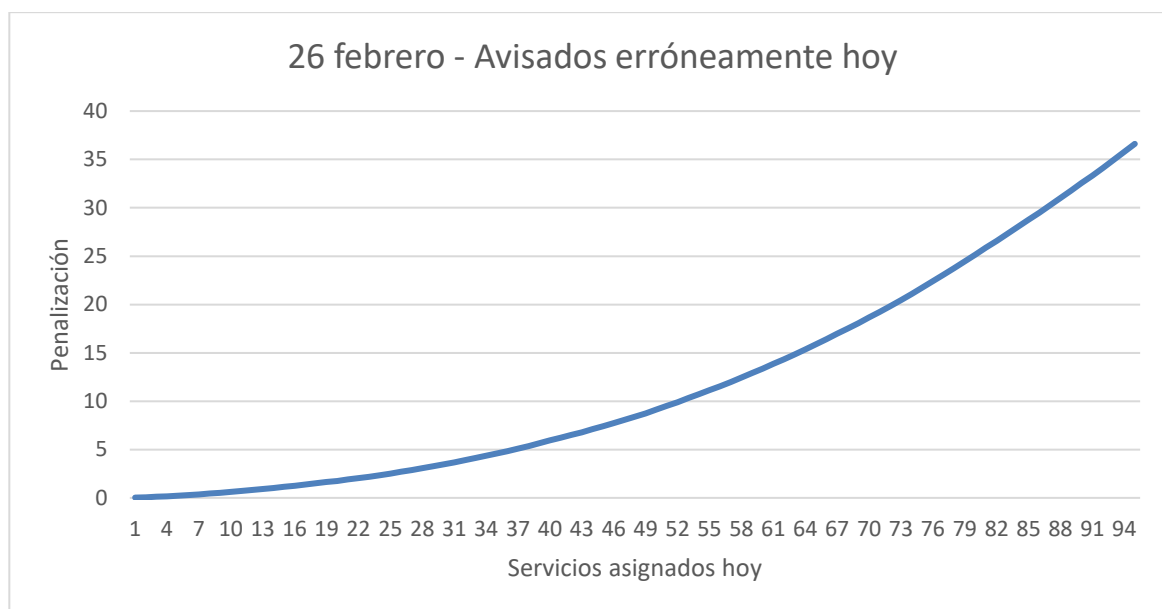


Ilustración 7. Servicios avisados erróneamente del día 26 de febrero.

Como se puede observar en el ejemplo, ocurre todo lo mencionado que debía suceder y que se puede corroborar de igual modo en la tabla 5 y es que, los *Servicios avisados erróneamente hoy* aumentan cuanto mayor son los *Servicios asignados hoy*.

4.3 Retrasos mañana.

Para el cálculo de *Retrasos mañana*, ya se ha comentado que primeramente se debe calcular a partir de la expresión (5) los *Servicios en último día mañana*.

$$\begin{aligned} \text{Servicios en último día mañana} = & \text{Servicios totales hoy} - \text{Servicios realizados hoy} + \\ & + \text{Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo} \end{aligned} \quad (5)$$

De esta fórmula, hay que darse cuenta de que los *Servicios que llegan mañana con 1 día de plazo*, es la constante ya calculada anteriormente cuyo valor es 56,38 servicios. Por otro lado, los *Servicios realizados hoy* también han sido obtenidos de forma previa. De modo que tan solo habría que aplicar la expresión para cada uno de los 168 días que se disponen.

De igual forma que en el apartado anterior, estas soluciones quedan mejor reflejadas en el ejemplo siguiente:

Ejemplo 4.3.1 *El día 26 de febrero de 2021, el número total de servicios que tiene pendientes el repartidor es 95.*

$$\text{Servicios en último día mañana} = 95 - \text{Servicios realizados hoy} + 56$$

Los servicios realizados hoy dependen de cada valor de A y cuyo resultado se encuentra calculado en el apartado 4.2. del presente documento.

Una vez se han obtenido los *Servicios en último día mañana*, tan solo hay que aplicar la expresión (4) teniendo en cuenta que *Servicios realizados mañana* es la constante ya calculada previamente y cuyo valor es de 62,43 , servicios. Por último, hay que decidir qué valor darle a la penalización que, en este caso se ha decidido darle un peso de 2 a *Retrasos mañana* de modo que le estamos dando el doble de importancia que a los servicios que se avisan de forma equivocada.

De igual modo que anteriormente, se reflejan mucho mejor los resultados en el ejemplo por lo que:

Ejemplo 4.3.2 El día 26 de febrero de 2021, el número total de servicios que tiene pendientes el repartidor es 95.

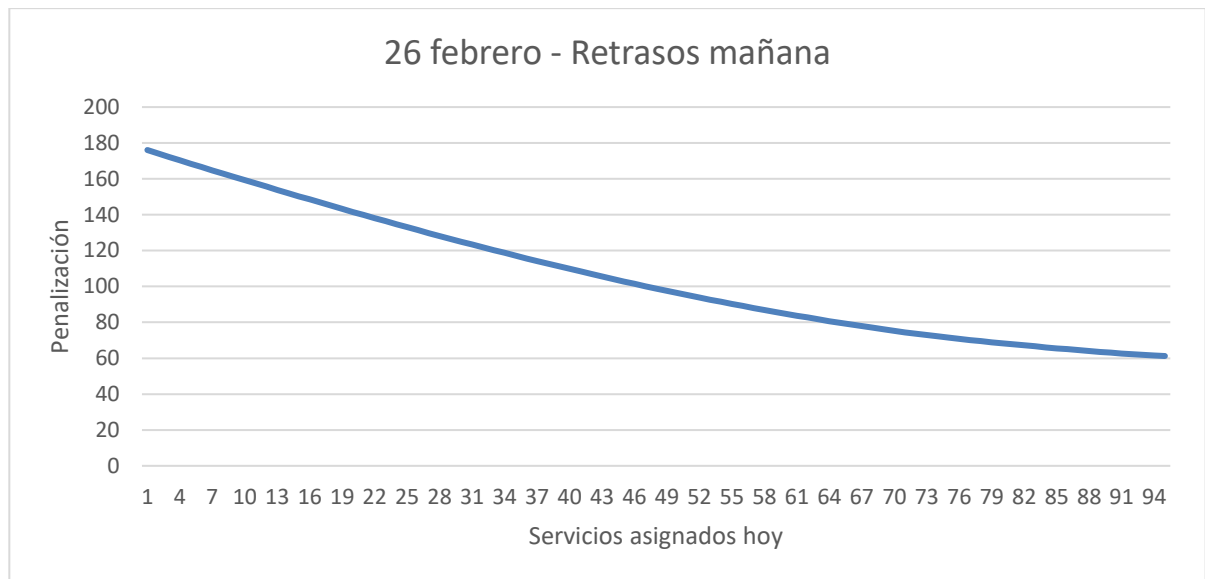


Ilustración 8. Retrasos mañana del día 26 de febrero.

4.4 Resultado final

Por tanto, como paso final quedaría equilibrar ambas penalizaciones de modo que nos diera como resultado una curva cuyo mínimo es la solución óptima de nuestro problema. Para ello, se han sumado los dos resultados obtenidos de los *Servicios avisados erróneamente hoy* y de los *Retrasos mañana*, dando lugar a una gráfica tal y como se esperaba y que se ha comentado en el subapartado de la *Penalizaciones (3.2.3)*.

De este modo, siguiendo con el ejemplo que se está utilizando para aclarar todas las explicaciones, quedaría:

Ejemplo 4.4.1 El día 26 de febrero de 2021, el número total de servicios que tiene pendientes el repartidor es 95.

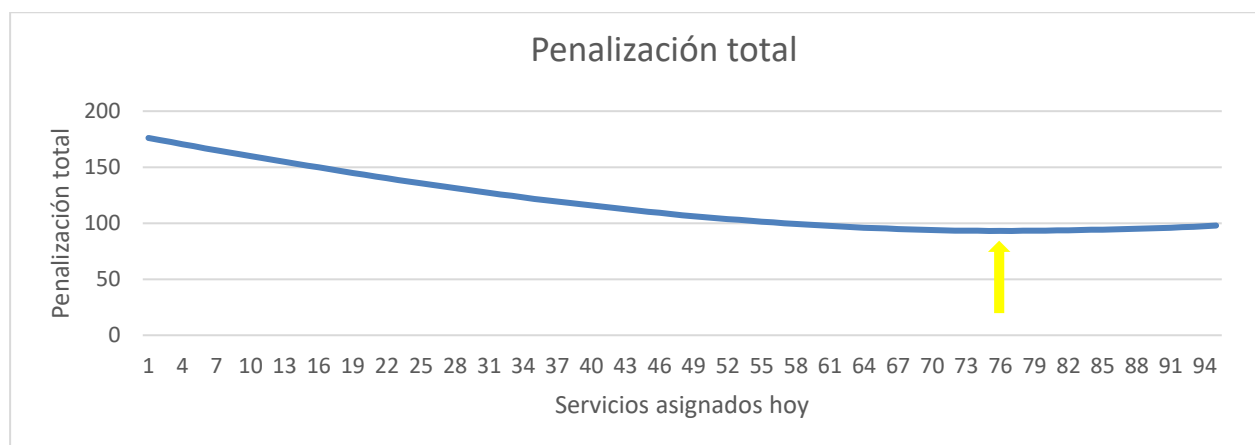


Ilustración 9. Penalización total del 26 de febrero.

Se puede apreciar muy levemente que la solución óptima a este problema del día 26 de febrero sería el mínimo de esta curva (96.12) por lo que el repartidor debe realizar hoy 76 servicios.

4.5. Limitación de valores

Como se ha comentado repetidas veces en este documento, no existe una metodología exacta para resolver este problema por lo que, como era de esperar, hay algunos inconvenientes a la hora de valorar todos los resultados.

En primer lugar, hay que resaltar que, cuando hay un número muy bajo de *Servicios asignado hoy*, la expresión (4) sería:

$$\text{Retrasos mañana} = \text{Servicios en último día mañana} - 62 \quad (4)$$

De modo que, cuando el valor de *Servicios en último día mañana* es menor que 62, el resultado es negativo. Por ello, se ha implementado que cuando el valor de *Retrasos mañana* sea menor que 0, su valor sea igual a 0, ya que lo lógico es que cuantos más servicios pueda realizar el repartidor hoy menos retrasos tendrá mañana hasta el punto de llegar a 0 servicios retrasados y, es por esto mismo, que la gráfica de esta variable debe disminuir cuanto mayor sea el valor de A. Para aclarar esto, se va a hacer uso del día 30 de abril como claro ejemplo a este caso.

Ejemplo 4.5.1. *El día 30 de abril de 2021, el número total de servicios que tiene pendientes el repartidor es 23.*

$$\text{Servicios en último día mañana} = 23 - \text{Servicios realizados hoy} + 56$$

Los servicios realizados hoy dependen de cada valor de A y cuyo resultado se encuentra calculado en el apartado 4.2. del presente documento.

A partir del ejemplo anterior, quedaría la siguiente tabla:

A	Servicios en último día mañana	Retrasos mañana	Con penalización x2	
1	78,0298	16,0298	32,0596	32,0596
2	77,0655	15,0655	30,131	30,131
3	76,1131	14,1131	28,2262	28,2262
4	75,1607	13,1607	26,3214	26,3214
5	74,2202	12,2202	24,4404	24,4404
6	73,2857	11,2857	22,5714	22,5714
7	72,3571	10,3571	20,7142	20,7142
8	71,4405	9,4405	18,881	18,881
9	70,5298	8,5298	17,0596	17,0596
10	69,625	7,625	15,25	15,25
11	68,7202	6,7202	13,4404	13,4404

12	67,8214	5,8214	11,6428	11,6428
13	66,9226	4,9226	9,8452	9,8452
14	66,0298	4,0298	8,0596	8,0596
15	65,1369	3,1369	6,2738	6,2738
16	64,256	2,256	4,512	4,512
17	63,381	1,381	2,762	2,762
18	62,506	0,506	1,012	1,012
19	61,631	-0,369	-0,738	0
20	60,7619	-1,2381	-2,4762	0
21	59,8988	-2,1012	-4,2024	0
22	59,0417	-2,9583	-5,9166	0
23	58,1905	-3,8095	-7,619	0

Tabla 6. Ejemplo que destacar de números negativos.

Por tanto, el resultado del día 30 de abril que se está tomando como ejemplo sería el siguiente:

Ejemplo 4.5.2 El día 30 de abril de 2021, el número total de servicios que tiene pendientes el repartidor es 23.

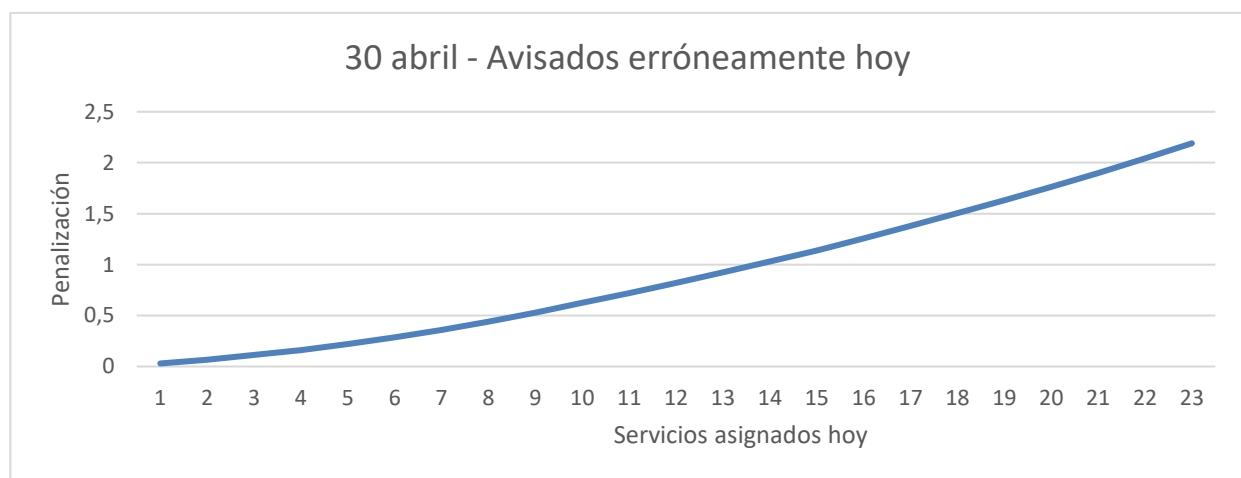


Ilustración 10. Servicios avisados erróneamente del día 30 de abril.

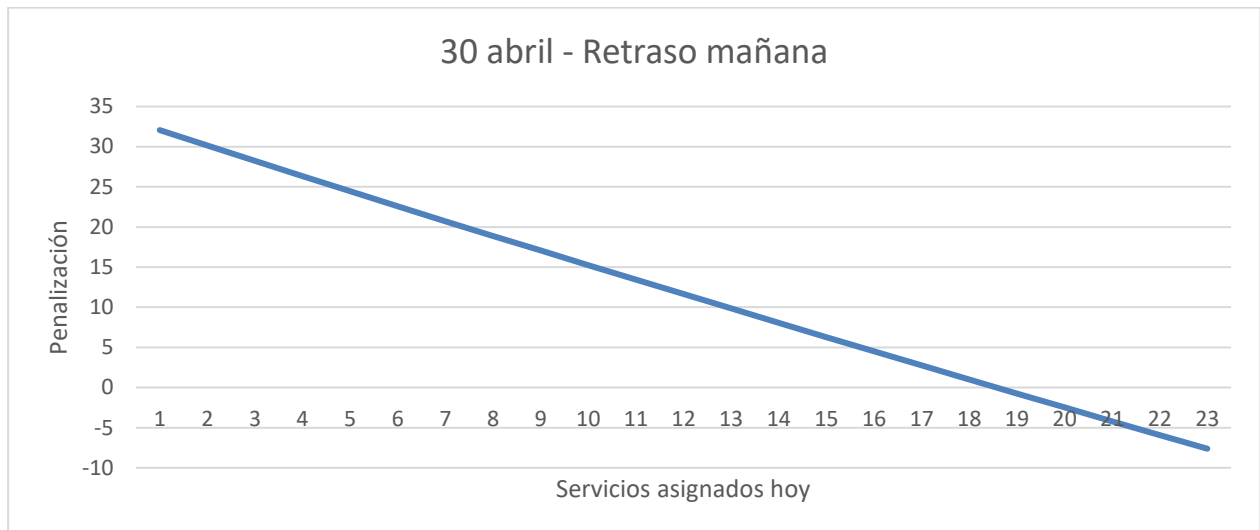


Ilustración 11. Retrasos mañana sin corregir del día 30 de abril.

Se puede observar en esta última gráfica, como ocurre lo comentado en este caso. Los valores se van a términos negativos por lo que, para equilibrar ambas penalizaciones, esos valores pasan a ser cero y a eso se debe que no salga una curva como en las demás soluciones.

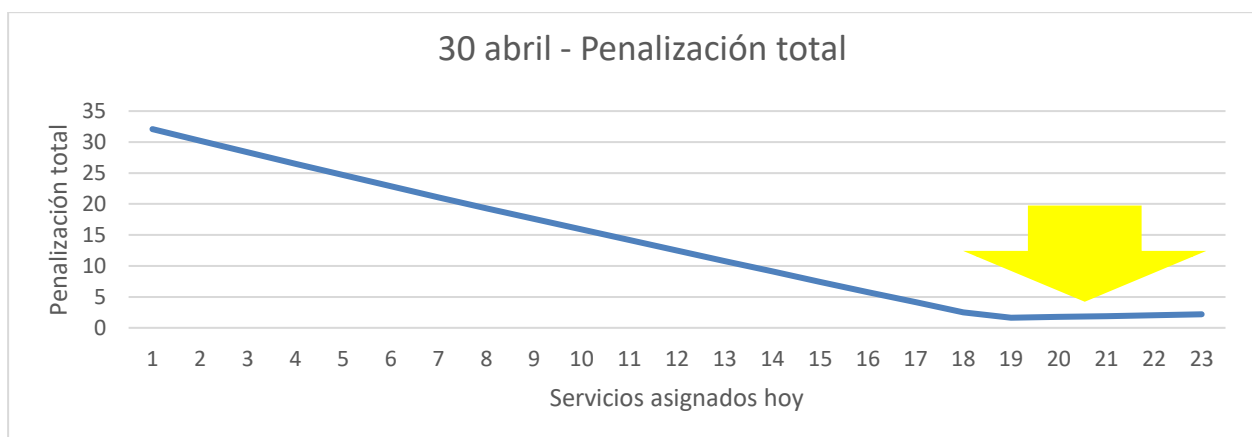


Ilustración 12. Penalización total correcta del día 30 de abril.

Se puede apreciar muy levemente que la solución óptima a este problema del día 30 de febrero sería el mínimo de esta curva (0) por lo que el trabajador debe realizar hoy el total de repartos asignados, es decir, 23.

Para finalizar este punto, otra cuestión que destacar, es que una vez implementado lo anterior y calculados todos los días que se disponen para este problema, se llega a la conclusión de que, con las penalizaciones escogidas y aplicando todo lo desarrollado en esta memoria, no se deben asignar más de 76 servicios al día. Esto se muestra claramente en una gráfica de dispersión en la que el eje x son los servicios pendientes para el repartidor y el eje y son aquellos que se le deben asignar.

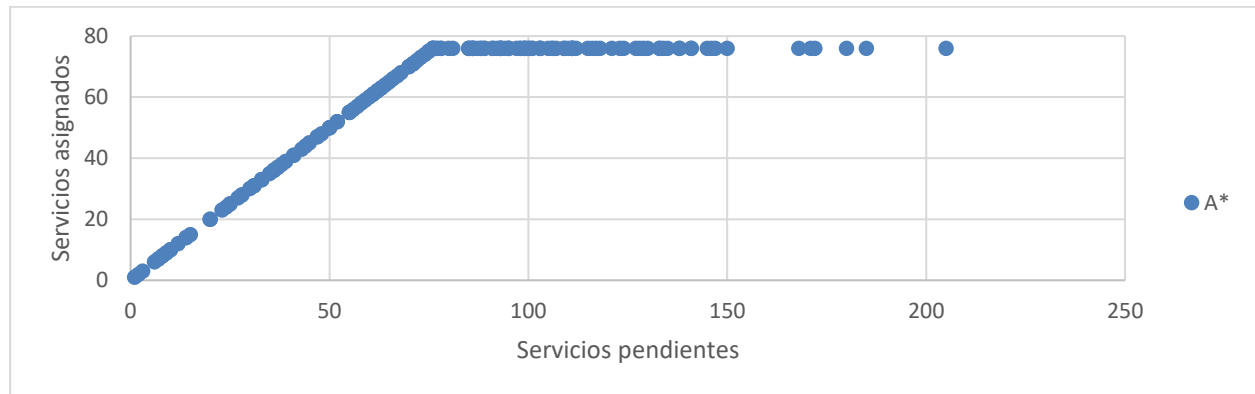


Ilustración 13. Gráfica de dispersión de la solución final.

Se muestra claramente que, teniendo menos de 76 servicios, el repartidor debe poder realizar todos ellos con éxito dejando a la empresa en buen lugar y a los clientes satisfechos. Es interesante añadir a la gráfica los repartos que quedarían sin realizar a partir de 76 para tenerlo en cuenta en movimientos futuros.

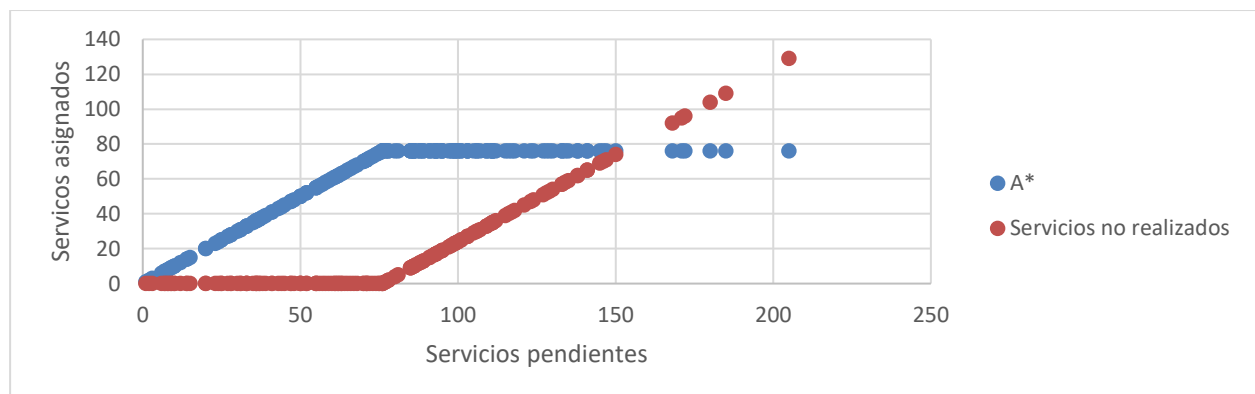


Ilustración 14. Gráfica de dispersión de la solución final con servicios no realizados.

Por ejemplo, se contempla que cuando el trabajador tenga 85 servicios asignados, realizará 76 y 9 quedarán sin repartir, siempre hablando en términos medios.

Parece una solución bastante factible ya que, analizando los datos que se tienen de partida, se ha calculado que de media el trabajador tiene que realizar unos 62 servicios al día. Por ello, teniendo este resultado final de 76 entregas como máximo por jornada laboral, se puede decir que entra dentro de un rango muy cercano al promedio de servicios que se tiene, por lo que el trabajador no debería estar muy saturado y la empresa quedaría equilibrada en cierto modo.

5 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

En este apartado se va a desarrollar el análisis de sensibilidad del problema que se está estudiando. En primer lugar, se ha de explicar que la idea es jugar con distintas penalizaciones tanto grandes como pequeñas y dándole prioridad primero a una variable y después a otra, con la finalidad de ir obteniendo distintos resultados y poder compararlos entre ellos. Para ello, se va a tomar como ejemplo un día que tenga bastantes servicios que realizar para que no de ningún tipo de los inconvenientes mencionados en el apartado anterior: el día 5 de mayo el repartidor tiene que entregar 176 paquetes. De modo que, para tener todo esto de una forma más organizada, se va a dividir este subapartado en varios casos.

5.1 Caso 1

En este primer caso, se va a aumentar de forma considerable la penalización de *Retrasos mañana* sin variar los *Servicios avisados erróneamente hoy*, lo que implica darles una importancia enorme a los retrasos en comparación a los mensajes enviados de forma errónea. Por tanto, asignándole a esta variable un peso de 10 (multiplicar los valores de *Retrasos mañana* por 10), sale el siguiente resultado:

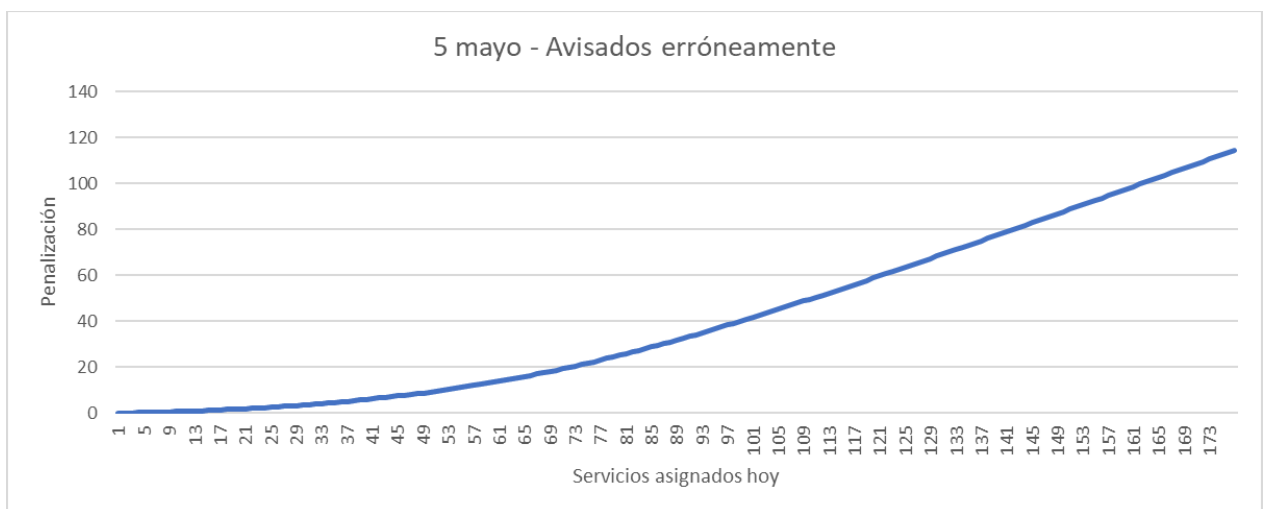


Ilustración 15. Servicios avisados erróneamente caso 1.

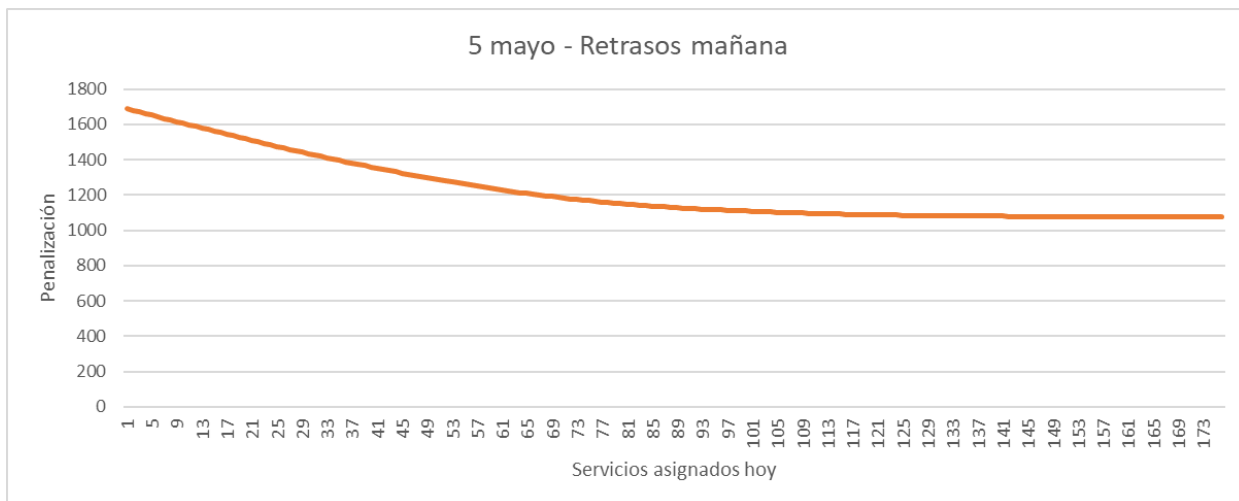


Ilustración 16. Retrasos mañana caso 1.

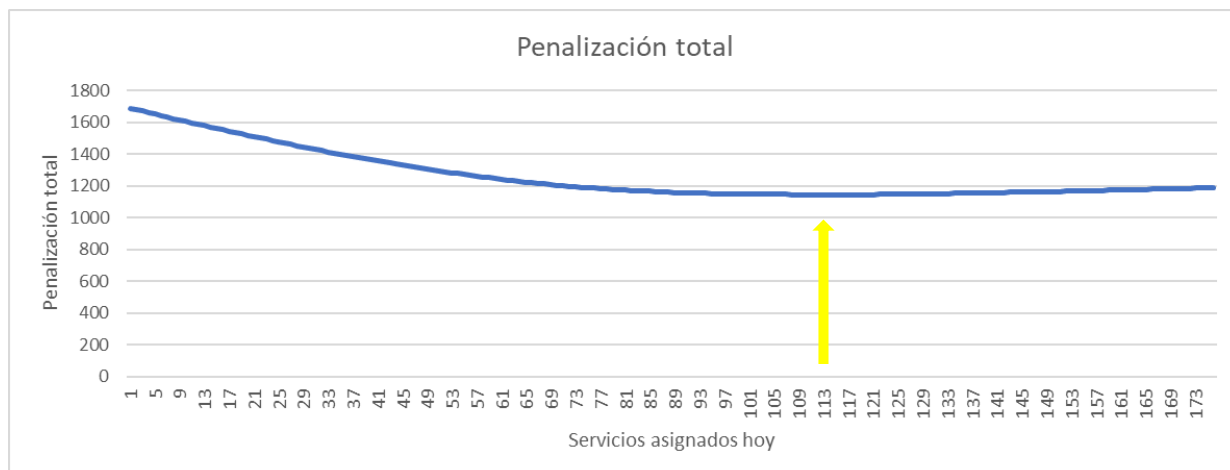


Ilustración 17. Penalización total caso 1.

Se puede apreciar muy levemente que la solución óptima para este caso en concreto sería el mínimo de esta curva (1145.34) por lo que el trabajador debe realizar 113 servicios ese día. Se puede considerar una solución bastante factible, observando que el máximo de servicios del repartidor ha aumentado significativamente en comparación con el resultado elegido para esta memoria. Es de lógica también esto último mencionado ya que, si se le da una mayor importancia a que los servicios no se retrasen, va a salir una solución mayor para tener el mínimo de servicios acumulados al día siguiente.

5.2 Caso 2

Para el segundo caso, se va a hacer todo lo contrario, se va a disminuir de forma considerable la penalización de *Retrasos mañana* sin variar los *Servicios avisados erróneamente*, dándole esta vez más importancia a los mensajes enviados erróneamente que a los retrasos que se puedan producir. Obviamente, todo estos son casos hipotéticos y no es ideal en ningún momento. Por ello, se va a asignar una penalización de 0.05 a los Retrasos mañana.

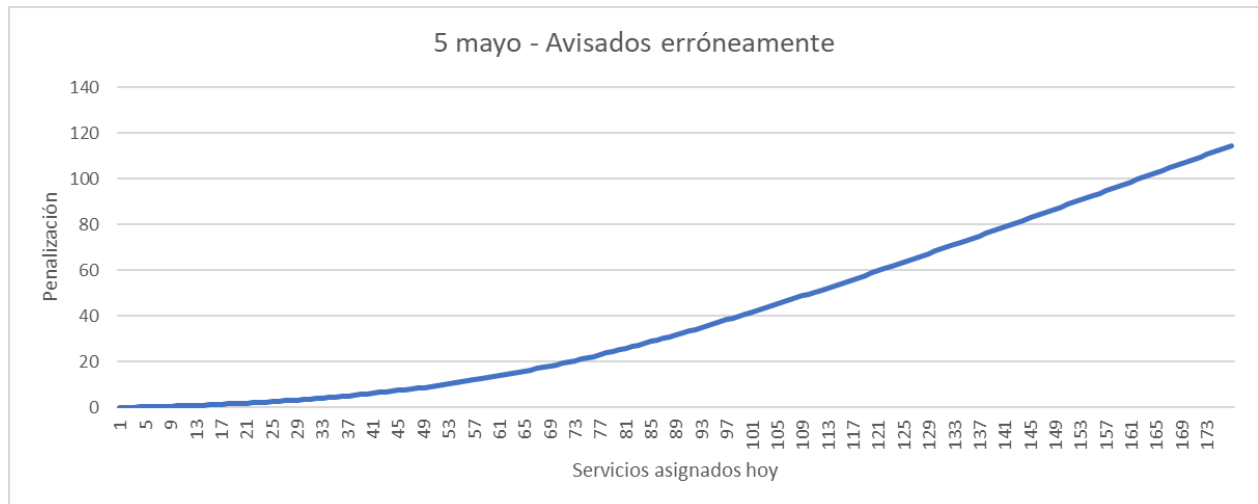


Ilustración 18. Servicios avisados erróneamente caso 2.

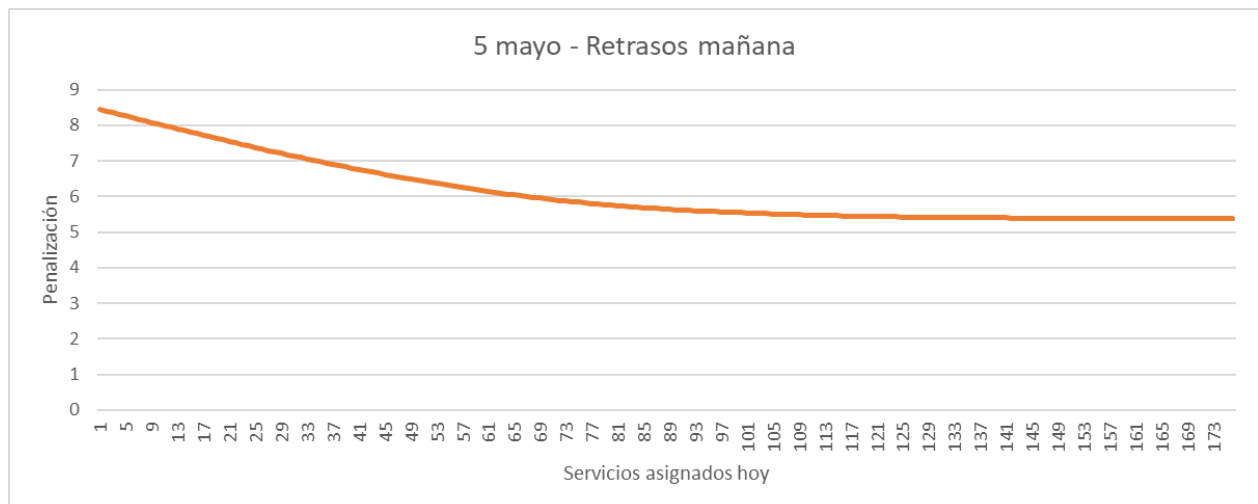


Ilustración 19. Retrasos mañana caso 2.

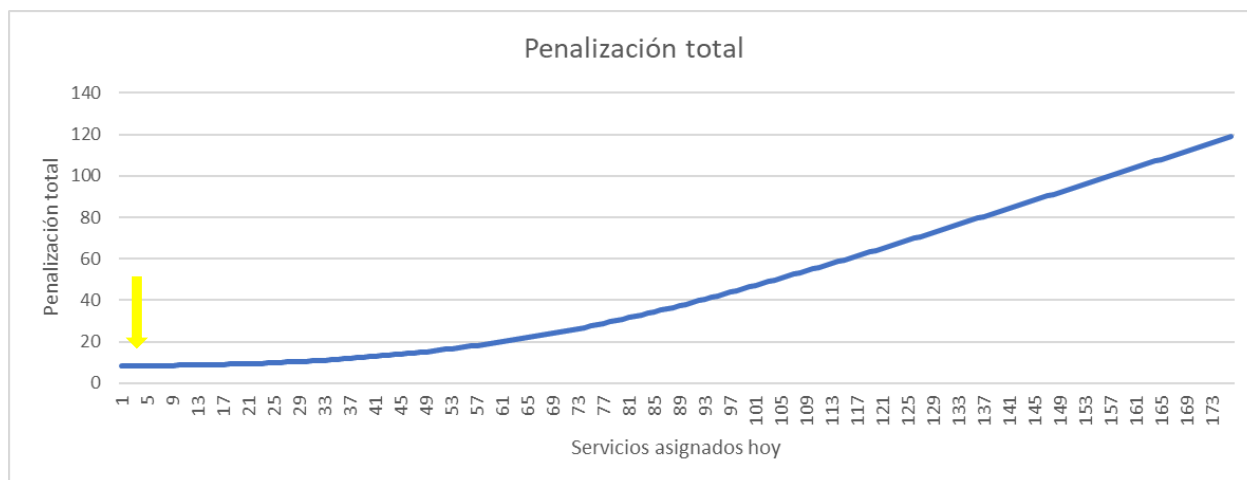


Ilustración 20. Penalización total caso 2.

Como se puede observar, apenas se aprecia el mínimo de esta curva que da como resultado que debe realizar tan solo 3 servicios de los 176 que tiene asignado para ese día, algo totalmente ilógico para la empresa. Lo que ha ocurrido es que, al darle bastante más importancia a los Servicios avisados erróneamente, cuantos menos repartos se hagan menos errores se tienen. Por tanto, una solución nada factible para el problema.

5.3 Caso 3

En este último caso que se está analizando, se le va a dar la misma penalización a ambas variables, de modo que las dos tienen la misma importancia a la hora de realizar los repartos. Se le va a asigna un peso de 1 tanto a los *Retrasos mañana* como a los *Servicios avisados erróneamente*.

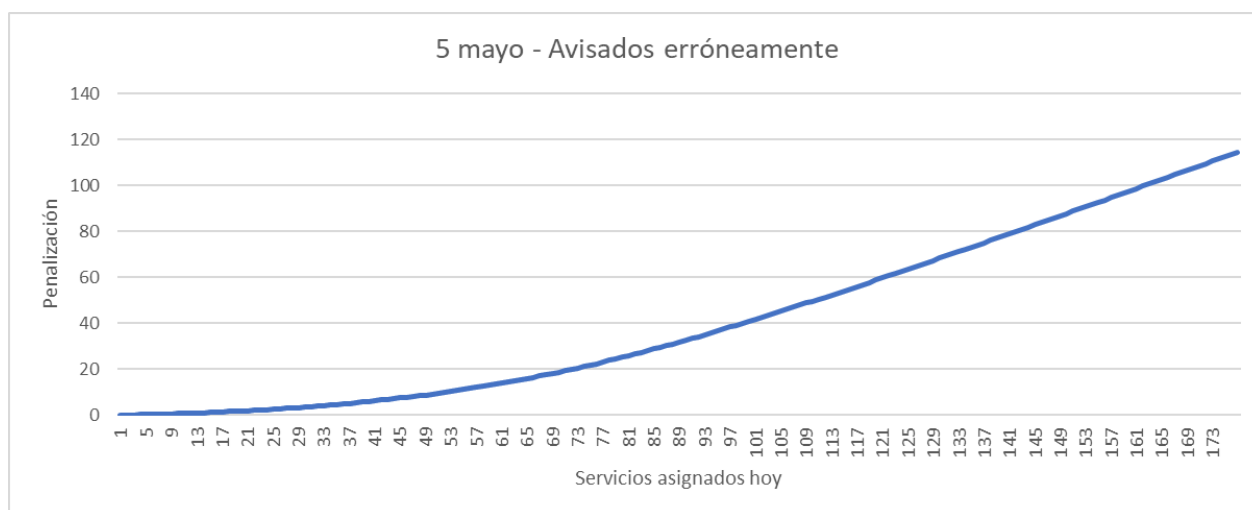


Ilustración 21. Servicios avisados erróneamente caso 3.

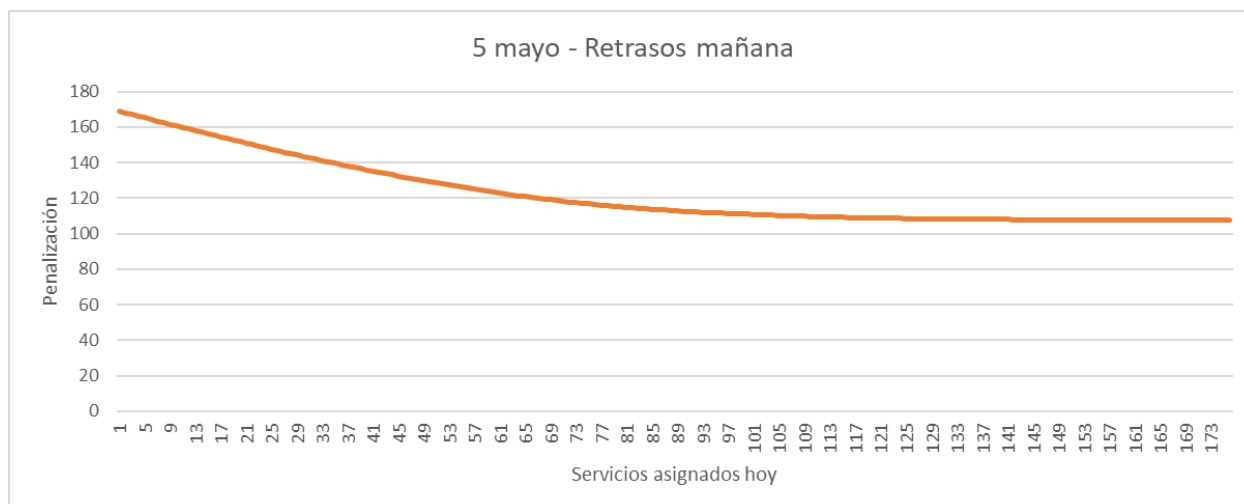


Ilustración 22. Retrasos mañana caso 3.

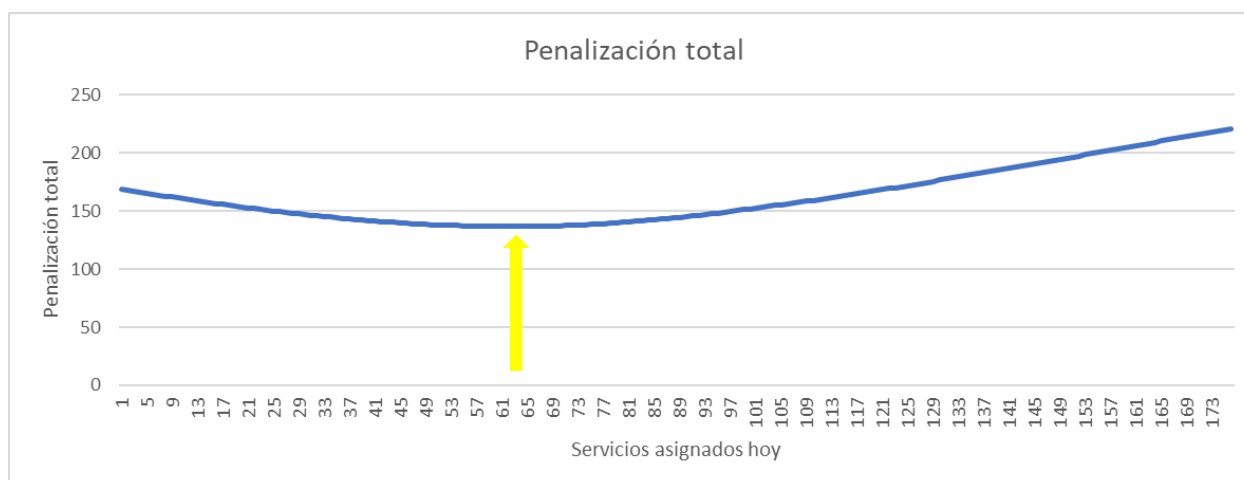


Ilustración 23. Penalización total caso 3.

Se muestra que el trabajador ha de realizar esta jornada laboral 63 servicios. No es una solución que no se pueda aceptar, pero el fin de todo esto es la prioridad que se le da a cada una de las variables considerando que los retrasos que se puedan producir son mucho más graves que los avisos erróneos, por lo que es un caso que ni siquiera se ha planteado a la hora de elegir una solución factible en este documento.

5.4 Resumen del análisis de sensibilidad.

En definitiva, de este análisis de sensibilidad se puede sacar varios hechos claves para este informe. En primer lugar, es fundamental darle una mayor importancia a los envíos retrasados en comparación con los servicios que se avisen forma equívoca, ya que es el primer suceso que nos proporciona una solución factible. En segundo lugar, también hay que comentar que se ha observado que, mientras se le dé una prioridad superior a *Retrasos mañana*, se pueden considerar resultados válidos, siempre y cuando no se pongan penalizaciones sin sentido. Y, por último, ya se ha comentado en el apartado anterior, pero hay que volver a resaltar que la solución elegida en el presente documento ($A^*=76$ servicios), se basa en que se ha extraído de los datos que el trabajador tiene 62 repartos de media durante todo el período estudiado. De este modo, ha parecido bastante conveniente dicha elección ya que 76 resulta un valor cercano a ese término medio y puede ser una forma de equilibrar de alguna manera los servicios de la empresa.

6 CONCLUSIONES

En este último punto, se va a realizar un resumen general de cómo se ha llevado a cabo el desarrollo del presente Trabajo Fin de Grado, así como se va a comentar todo tipo de conclusiones a las que se ha llegado con la ejecución de este.

Este estudio ha sido motivado por varios hechos que llevan sucediendo desde hace bastantes años. En primer lugar, el crecimiento significativo que ha sufrido el comercio online sobre todo a partir de 2020 cuando se produjo la pandemia. Otro aspecto, y el más importante para este trabajo, son los problemas de logística que tienen las empresas a la hora de realizar sus envíos, es por ello, que se ha puesto el foco en el reparto de última milla. Este concepto está muy presente en la actualidad ya que es el último paso en la cadena de suministro de un producto comprado online, cuando se le otorga al cliente. El reparto de última milla se ve afectado por varios inconvenientes incontrolables por parte de la empresa a la hora de ser ejecutado como el tráfico, el aparcamiento o la ausencia del propio cliente en el hogar, haciendo que los servicios se retrasen o avisen a los clientes de forma errónea. Este hecho pone en duda la calidad de trabajo de la empresa ocasionando desagrado en los consumidores y repercutiendo de alguna manera en el futuro laboral de la misma.

En este sentido, se ha desarrollado el análisis de un repartidor de una empresa anónima de Madrid, que ha proporcionado los datos suficientes para realizar un estudio con el objetivo final de dadas unas penalizaciones a los retrasos que pueda sufrir un servicio, para un número determinado de repartos al día, obtener cuál es la cantidad óptima de servicios que este trabajador debe realizar para una jornada laboral concreta. Como se acaba de mencionar, la meta es conseguir el mínimo de retrasos por parte del repartidor en los servicios que debe entregar en un día. Sin embargo, no existe una metodología exacta por la cual sacar una solución única para este problema, por lo que se ha decidido que la forma de evaluar las soluciones obtenidas tras una serie de cálculos realizados es a partir de dar prioridad a aquellos servicios que puedan sufrir retrasos, de manera que este número sea el mínimo posible.

En lo referente a los resultados obtenidos, una vez desarrollada toda la metodología que el término medio óptimo es 76 servicios al día, de modo que, cuando tenga un número de repartos asignados menor que 76 debe poder realizarlos todos y cuando ese número supere los 76 servicios, tan solo podrá entregar 76, quedando como retrasos para el día siguiente los repartos restantes. Para dar más credibilidad al resultado obtenido, se ha realizado un análisis de sensibilidad para estudiar más de una solución en este problema, en concreto, tres. De este modo, dos de los tres casos podrían considerarse como soluciones factibles y el otro muestra un resultado completamente ilógico.

Al realizar todo lo mencionado se ha deducido que hay que darle prioridad a los retrasos que puedan sufrir los servicios, en concreto, en el caso de estudio se tienen dos tipos fundamentales de retrasos a los que se le asignan penalizaciones como son los *Servicios avisados erróneamente* y los *Retrasos mañana*. Tras ejecutar todos los cálculos y el análisis de sensibilidad se llega a la conclusión totalmente lógica de que hay que darle mucha más prioridad a los servicios que se puedan retrasar que a los mensajes enviados equívocamente a los clientes, ya que provoca mucho más desagrado en el consumidor que el paquete no llegue en el día esperado a que se envíe un mensaje erróneo con la hora o el día. Cuanto mayor sea la prioridad que pesa en los retrasos, mayor es el número óptimo de repartos que el trabajador debe realizar en una jornada laboral. Por tanto, si no se tiene en cuenta los inconvenientes que pueda sufrir o el tiempo del que dispone lo más lógico sería poder asignarle el mayor número posible de servicios. Es por ello por lo que se ha elegido la solución de que 76 servicios sea su

óptimo, porque teniendo en cuenta las penalizaciones y habiendo calculado que en el periodo estudiado el repartidor tiene una media de 62 servicios al día, parece una solución bastante factible.

En definitiva, con este Trabajo de Fin de Grado, se comprueba que el reparto de última milla es una especie de gran desconocido todavía faltando mucho por estudiar debido a todos los inconvenientes que se sufre en la logística urbana y al gran crecimiento que está sufriendo el comercio online, a la vez que también se ha demostrado que teniendo una recogida de datos fiables por cualquier empresa se puede optimizar el reparto urbano o, al menos, intentar mejorar la eficacia sobre todo a la hora del transporte, ya que se puede considerar uno de los factores limitante a este problema.

REFERENCIAS

Autonomous Robot Technology GmbH, ARTI, 2021. El Famoso problema de la “última milla” explicado. *MoreThanDigital*, 26 de enero [En línea]. Available at: <https://morethandigital.info/es/el-famoso-problema-de-la-ultima-milla-explicado/> [Consultado 14-5-2023]

CNMC, 2023. El comercio electrónico supera en España los 18190 millones de euros en el segundo trimestre del 2022, un 33% más que el año anterior. *Comisión nacional de los mercados y la competencia*, 5 de enero [En línea]. Available at: <https://www.cnmc.es/prensa/ecommerce-2T-20230105>. [Consultado 20-6-2023]

Forbes, 2023. Las ventas ‘online’ en España crecerá un 20% en 2023, según Webloyalti. *Forbes*, 18 de enero [En línea]. Available at: <https://forbes.es/ultima-hora/220600/las-ventas-online-en-espana-creceran-un-20-en-2023-segun-webloyalty/>. [Consultado 20-6-2023]

González Rueda, Ana, 2022. La última milla, ¿puede ser sostenible el reparto masivo? *El mundo*, 28 de septiembre [En línea]. Available at: <https://urbanamente.elmundo.es/la-ultima-milla-puede-ser-sostenible-el-reparto-masivo> [Consultado 14-5-2023]

INE, 2020. El salto del comercio electrónico. *Instituto Nacional de Estadísticas*, junio [En línea]. Available at: https://www.ine.es/ss/Satellite?L=es_ES&c=INECifrasINE_C&cid=1259952923622&p=1254735116567&pagename=ProductosYServicios%2FINECifrasINE_C%2FPYSDetalleCifrasINE#ancla_1259952923586. [Consultado 15-6-2023]

Muñuzuri, J., Grosso, R., Escudero, A., Cortés, P, 2017. Distribución de mercancías y desarrollo urbano sostenible. *Transporte y territorio*. 17, pp. 34-58.

Puro Marketing, 2022. Sin confianza no hay ventas: 7 de cada 10 consumidores afirma tener un elevado grado de fiabilidad en el ecommerce. *Puro Marketing*, 14 de marzo [En línea]. Available at: [https://www.puromarketing.com/76/36118/confianza-ventas-cada-consumidore-afirma-tener-elevado-grado-fiabilidad-ecommerce#:~:text=La%20confianza%2C%20esencial%20para%20cerrar,%2C62%25%20en%202019\).](https://www.puromarketing.com/76/36118/confianza-ventas-cada-consumidore-afirma-tener-elevado-grado-fiabilidad-ecommerce#:~:text=La%20confianza%2C%20esencial%20para%20cerrar,%2C62%25%20en%202019).) [Consultado 22-06-2021]

Sánchez Vicente, Teresa, 2020. Seur: “El crecimiento del comercio electrónico durante estas últimas semanas está en los niveles de Navidad”. *ABC*, 20 de mayo [En línea]. Available at: https://www.abc.es/economia/abci-seur-crecimiento-comercio-electronico-durante-estas-ultimas-semanas-esta-niveles-navidad-202005200204_noticia.html?ref=https%3A%2F%2Fwww.google.com%2F [Consultado 15-5-2023].