



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

MODELO PARA OPTIMIZAR LA DOTACIÓN DE PERSONAL DE LOS PUNTOS DE  
RETIRO EN TIENDA DE UNA TIENDA POR DEPARTAMENTOS

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

ELÍAS EDUARDO ALEGRÍA PAVEZ

PROFESOR GUÍA:  
RICARDO SAN MARTÍN Z.

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
PATRICIO CONCA K.

SANTIAGO DE CHILE  
JULIO 2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL  
POR: ELÍAS EDUARDO ALEGRÍA PAVEZ  
FECHA: JULIO 2019  
PROF. GUÍA: RICARDO SAN MARTÍN Z.

## MODELO PARA OPTIMIZAR LA DOTACIÓN DE PERSONAL DE LOS PUNTOS DE RETIRO EN TIENDA DE UNA TIENDA POR DEPARTAMENTOS

Falabella Retail es una empresa de tiendas por departamento y está presente en 4 países de Latinoamérica: Chile, Perú, Colombia y Argentina, siendo líder en participación en cada país. Dado el alto crecimiento de canal online en las ventas del retail, se buscan nuevas estrategias de venta omnicanal para entregar una misma experiencia de compra al cliente independiente del canal por el que se está comprando.

Un canal de venta utilizado es el *click and collect* (C&C), que consiste en la compra online y retiro en tienda. Este canal ha tenido un crecimiento sostenido durante los últimos años y así como ha aumentado su participación en la empresa, se le han asignado más recursos como capacidad de bodegas y horas persona.

La oportunidad a abordar en esta memoria es la cantidad de horas ociosas con las que cuenta el C&C que se estima que se encuentra al rededor de un 40 % que traducidas a dinero, representan un costo de 585 millones de pesos al año. Es por esto que se propone realizar un modelo de programación entera mixta que permita encontrar la configuración óptima de turnos y jornadas del C&C sin descuidar la calidad del servicio.

Para poder establecer un nivel de servicio mínimo medido en porcentaje de horas persona mínimo que debe existir para no superar un tiempo de espera máximo se realizó en primer lugar una encuesta para encontrar dicho tiempo. Luego se realizaron simulaciones de colas para encontrar el porcentaje que se estaba buscando.

Dada las características de los requerimientos del C&C se decidió dividir el modelo en dos sub modelos: un modelo para encontrar la dotación anual base y otro modelo exclusivo para contratar apoyos para los eventos, en los cuales se contrata personas por un tiempo menor a un mes y se entregan grandes volúmenes de productos, como un CyberDay.

El modelo anual se ejecutó para dos tiendas representativas con los datos del año 2018 y se obtuvo como resultado una configuración de las horas del personal que genera un ahorro entre un 29 y un 38 por ciento con respecto a las horas contratadas por las tiendas durante el año 2018. Además el modelo para la contratación de apoyos recomienda la contratación de apoyos que en total genera un ahorro entre un 29 y un 32 por ciento con respecto al presupuesto de horas para el evento CyberDay 2019 a realizarse en mayo de 2019.

Se realizó también un análisis de sensibilidad de los modelos en base a ciertos parámetros o restricciones que podrían relajarse para obtener un ahorro mayor. Y se construyó un interfaz para la futura ejecución del modelo de apoyos para eventos que permita establecer los parámetros y restricciones de forma intuitiva.



# Tabla de Contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. Antecedentes generales</b>                                   | <b>1</b>  |
| 1.1. Descripción de la empresa . . . . .                           | 1         |
| 1.2. Mercado . . . . .   | 2         |
| 1.3. <i>Click and Collect</i> . . . . .                            | 5         |
| <b>2. Planteamiento del problema</b>                               | <b>7</b>  |
| 2.1. Antecedentes del problema . . . . .                           | 7         |
| 2.2. Justificación del problema . . . . .                          | 10        |
| 2.3. Indicadores importantes . . . . .                             | 11        |
| 2.3.1. Productividad . . . . .                                     | 11        |
| 2.3.2. <i>Net Promoter Score</i> . . . . .                         | 11        |
| 2.3.3. Tiempo de espera en fila (TEF) . . . . .                    | 12        |
| <b>3. Objetivos</b>  | <b>13</b> |
| 3.1. Objetivo General . . . . .                                    | 13        |
| 3.2. Objetivos Específicos . . . . .                               | 13        |
| <b>4. Marco teórico</b>  | <b>14</b> |
| <b>5. Alcances y resultados esperados</b>                          | <b>16</b> |
| <b>6. Metodología</b>  | <b>17</b> |
| <b>7. Levantamiento de información</b>                             | <b>19</b> |
| 7.1. Estudio de demandas . . . . .                                 | 19        |
| 7.1.1. Recepción de productos . . . . .                            | 19        |
| 7.1.2. Reserva de productos . . . . .                              | 20        |
| 7.1.3. Entrega de productos . . . . .                              | 22        |
| 7.2. Estimación de tiempos promedios . . . . .                     | 24        |
| 7.2.1. Estimación de tiempo de ubicación . . . . .                 | 25        |
| 7.2.2. Estimación de tiempos de entrega . . . . .                  | 25        |
| 7.2.3. Estimación de tiempos de confirmación de reservas . . . . . | 26        |
| 7.3. Restricciones legales y definiciones de la empresa . . . . .  | 27        |
| 7.3.1. Apoyos para eventos . . . . .                               | 29        |
| <b>8. Estimación del nivel de servicio mínimo</b>                  | <b>30</b> |
| 8.1. Encuesta . . . . .  | 30        |

|   |           |
|---|-----------|
| 8.2. Simulación de colas . . . . .                          | 34        |
| <b>9. Alcances y definiciones del modelo</b>                | <b>37</b> |
| 9.1. Definiciones del modelo . . . . .                      | 37        |
| <b>10. Ajuste de distribuciones</b>                         | <b>39</b> |
| 10.1. Distribución de productos recepcionados . . . . .     | 39        |
| 10.2. Distribución de entregas durante el día . . . . .     | 40        |
| 10.3. Distribución de reservas durante el día . . . . .     | 41        |
| <b>11. Creación de modelos</b>                              | <b>44</b> |
| 11.1. Modelo de dotación base anual . . . . .               | 44        |
| 11.1.1. Conjuntos . . . . .                                 | 44        |
| 11.1.2. Parámetros . . . . .                                | 46        |
| 11.1.3. Variables de Decisión . . . . .                     | 48        |
| 11.1.4. Variables de Estado . . . . .                       | 48        |
| 11.1.5. Restricciones . . . . .                             | 49        |
| 11.1.6. Función Objetivo . . . . .                          | 53        |
| 11.2. Modelo de dotación para eventos . . . . .             | 54        |
| 11.2.1. Conjuntos . . . . .                                 | 54        |
| 11.2.2. Parámetros . . . . .                                | 55        |
| 11.2.3. Variables de Decisión . . . . .                     | 56        |
| 11.2.4. Variables de Estado . . . . .                       | 57        |
| 11.2.5. Restricciones . . . . .                             | 58        |
| 11.2.6. Función Objetivo . . . . .                          | 60        |
| <b>12. Principales resultados</b>                           | <b>61</b> |
| 12.1. Modelo de dotación base anual . . . . .               | 61        |
| 12.1.1. Tienda Centro . . . . .                             | 63        |
| 12.1.2. Tienda Mall . . . . .                               | 65        |
| 12.2. Modelo de dotación para eventos . . . . .             | 68        |
| 12.2.1. Tienda Centro . . . . .                             | 68        |
| 12.2.2. Tienda Mall . . . . .                               | 71        |
| <b>13. Análisis de sensibilidad</b>                         | <b>75</b> |
| 13.1. Modelo de dotación base anual . . . . .               | 75        |
| 13.1.1. Nivel de Servicio . . . . .                         | 75        |
| 13.1.2. Cantidad de jornadas con ingreso y salida . . . . . | 77        |
| 13.2. Modelo de dotación para eventos . . . . .             | 79        |
| 13.2.1. Nivel de servicio . . . . .                         | 79        |
| 13.2.2. Nuevas configuraciones posibles . . . . .           | 80        |
| 13.2.3. Agregar días de ingreso y salida . . . . .          | 81        |
| 13.2.4. Ensamble . . . . .                                  | 82        |
| <b>14. Interfaz de modelo para eventos</b>                  | <b>84</b> |
| 14.1. Herramientas a utilizar . . . . .                     | 84        |
| 14.2. Diseño del interfaz . . . . .                         | 85        |

|                           |           |
|---------------------------|-----------|
| <b>15.Recomendaciones</b> | <b>90</b> |
| <b>Conclusión</b>         | <b>91</b> |
| <b>Bibliografía</b>       | <b>91</b> |

# Índice de Tablas

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Cantidad de tiendas y superficie de ventas por país . . . . .                        | 1  |
| 1.2. Cantidad de tiendas de los principales competidores . . . . .                        | 4  |
| 1.3. Segmentación generacional global al año 2015 . . . . .                               | 4  |
| 2.1. Impacto de la reducción de horas contratadas en distintos escenarios . . . . .       | 11 |
| 7.1. Tiempos de entrega promedio por tienda . . . . .                                     | 27 |
| 7.2. Horas de almuerzo según jornadas de 7 horas diarias o más según tipo de tienda       | 29 |
| 8.1. Consecuencia de sobrepasar el tiempo de espera máximo, día normal . . . . .          | 33 |
| 8.2. Consecuencia de sobrepasar el tiempo de espera máximo, CyberDay . . . . .            | 33 |
| 11.1. Tipos de jornada disponible para contratar . . . . .                                | 45 |
| 11.2. Tipos de rotaciones disponibles . . . . .   | 45 |
| 11.3. Tipos de rotaciones disponible dependiendo de la jornada . . . . .                  | 45 |
| 11.4. Cantidad de turnos disponibles dependiendo del tipo de jornada . . . . .            | 46 |
| 13.1. Comparación de modelos a diferente porcentaje de dotación mínima . . . . .          | 76 |
| 13.2. Comparación de modelo Actual y modelo flexible . . . . .                            | 77 |
| 13.3. Resultados del análisis de sensibilidad con respecto al nivel de servicio . . . . . | 79 |
| 13.4. Resultados modelo flexible y comparación con modelo actual . . . . .                | 81 |
| 13.5. Comparación modelo con más días de ingreso y salida . . . . .                       | 82 |
| 13.6. Comparación de modelo actual con modelo Ensamble . . . . .                          | 83 |
| 15.1. Cantidad de módulos necesarios para cumplir el tiempo de espera máximo . .          | 99 |

# Índice de Ilustraciones

|   |    |
|---|----|
| 1.1. Estructura organizacional Falabella Retail . . . . .                             | 2  |
| 1.2. Estructura organizacional Falabella Retail Chile . . . . .                       | 3  |
| 1.3. Participación de mercado de las tiendas por departamento en Chile . . . . .      | 3  |
| 1.4. Evolución del número de tiendas en Perú . . . . .                                | 4  |
| 1.5. Participación el <i>e-commerce</i> en las ventas globales del retail . . . . .   | 5  |
| <br>  |    |
| 2.1. Crecimiento del C&C de 2016 a 2018 en unidades entregadas . . . . .              | 7  |
| 2.2. Metros cuadrados promedio por bodega del C&C . . . . .                           | 8  |
| 2.3. Horas contratadas del C&C del total de horas contratadas de la tienda . . . . .  | 8  |
| 2.4. Relación entre tiempo de confirmación y tasa de rechazo . . . . .                | 9  |
| 2.5. Demanda promedio de horas y horas contratadas según dotación de la tienda        | 10 |
| 2.6. NPS y NPS Rapidez C&C . . . . .  | 12 |
| <br>  |    |
| 7.1. Unidades recepcionadas diariamente durante el año 2018 . . . . .                 | 19 |
| 7.2. Cantidad de reservas diarias durante el año 2018 . . . . .                       | 20 |
| 7.3. Distribución de reservas durante el día por día de semana . . . . .              | 21 |
| 7.4. Distribución de reservas durante el día semana laboral . . . . .                 | 21 |
| 7.5. Distribución de reservas durante el día por día fin de semana . . . . .          | 21 |
| 7.6. Cantidad de entregas diarias durante el año 2018 . . . . .                       | 22 |
| 7.7. Distribución de entregas durante el día en una tienda de mall, semana laboral    | 22 |
| 7.8. Distribución de entregas durante el día en una tienda de mall, semana laboral    | 23 |
| 7.9. Entregas promedio por día de la semana, tiendas de centro . . . . .              | 23 |
| 7.10. Distribución de entregas durante el día en una tienda de centro, semana laboral | 24 |
| 7.11. Entregas promedio por día de la semana, tiendas de centro . . . . .             | 24 |
| 7.12. Distribución de entregas durante el día en una tienda de mall, semana laboral   | 25 |
| 7.13. Tiempos promedios en segundos de ubicación por bulto en 18 tiendas . . . . .    | 26 |
| 7.14. Tipos de jornada disponible para contratar en Falabella . . . . .               | 28 |
| 7.15. Rotaciones para jornadas rotativas 5x2 . . . . .                                | 29 |
| <br>  |    |
| 8.1. Distribución de edad de la muestra . . . . .                                     | 31 |
| 8.2. Distribución de productos comprados durante el último año . . . . .              | 31 |
| 8.3. Promedio de productos comprados el último año por grupo etario . . . . .         | 32 |
| 8.4. Tiempo de espera máximo por cantidad de encuestados . . . . .                    | 32 |
| 8.5. Tiempo de espera máximo por cantidad de productos comprados . . . . .            | 33 |
| 8.6. Diagrama de la simulación de colas . . . . .                                     | 35 |
| 8.7. Porcentaje de módulos necesarios para cumplir con el tiempo de espera máximo     | 36 |

|   |    |
|---|----|
| 10.1. Ajuste de la distribución de entregas de lunes a jueves, tienda Mall . . . . .  | 41 |
| 10.2. Ajuste de la distribución de entregas día viernes, tienda Mall . . . . .        | 42 |
| 10.3. Ajuste de la distribución de entregas día sábado, tienda Mall . . . . .         | 42 |
| 10.4. Ajuste de la distribución de entregas día domingo, tienda Mall . . . . .        | 43 |
| 10.5. Ajuste de la distribución de reservas durante un día . . . . .                  | 43 |
| <br>11.1. Turnos posibles para la jornada Full Time de 45 horas . . . . .             | 47 |
| <br>12.1. Sub/sobre dotación de personal, modelo anual, tienda Centro . . . . .       | 63 |
| 12.2. Promedio de horas requeridas y cubiertas con el resultado del modelo anual .    | 64 |
| 12.3. Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de lunes a viernes .     | 64 |
| 12.4. Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de sábado a domingo      | 65 |
| 12.5. Sub/sobre dotación de personal, modelo anual, tienda Mall . . . . .             | 66 |
| 12.6. Promedio de horas requeridas y cubiertas con el resultado del modelo anual .    | 66 |
| 12.7. Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de lunes a viernes .     | 67 |
| 12.8. Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de sábado a domingo      | 67 |
| 12.9. Promedio de horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo .    | 69 |
| 12.10 Horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo, día 3 . . .     | 70 |
| 12.11 Sub/sobre dotación de personal para el evento en tienda Centro . . . . .        | 70 |
| 12.12 Sub/sobre dotación de personal primera semana del evento, tienda Centro .       | 71 |
| 12.13 Promedio de horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo .    | 72 |
| 12.14 Horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo, día 1 . . .     | 73 |
| 12.15 Horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo, día 3 . . .     | 74 |
| 12.16 Sub/sobre dotación de personal para el evento en tienda Mall . . . . .          | 74 |
| 12.17 Sub/sobre dotación de personal primera semana del evento, tienda Mall . .       | 74 |
| <br>13.1. Sub/sobre dotación de personal tienda Mall . . . . .                        | 76 |
| 13.2. Curvas de horas demandadas y ofrecidas con ambos modelos . . . . .              | 77 |
| 13.3. Sub/sobre dotación de personal tienda Mall . . . . .                            | 78 |
| 13.4. Curvas de horas demandadas y ofrecidas con ambos modelos . . . . .              | 78 |
| 13.5. Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro para diferentes niveles de servicio | 80 |
| 13.6. Oferta y demanda del modelo a diferentes niveles de servicio, tienda Mall .     | 80 |
| 13.7. Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro, modelo flexible y actual . .       | 81 |
| 13.8. Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro, modelo flexible y actual . .       | 82 |
| 13.9. Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro, modelo flexible y actual . .       | 83 |
| <br>14.1. Diagrama del flujo de trabajo del interfaz . . . . .                        | 85 |
| 14.2. Menú del interfaz . . . . .   | 86 |
| 14.3. Establecer días del evento . . . . .  | 87 |
| 14.4. Establecer dotación actual de la tienda . . . . .                               | 87 |
| 14.5. Establecer turnos disponibles . . . . .   | 88 |
| 14.6. Establecer posibles días libres . . . . .                                       | 88 |
| 14.7. Establecer posibles días libres . . . . .                                       | 88 |
| 14.8. Establecer posibles días libres . . . . .                                       | 89 |
| 14.9. Establecer posibles días libres . . . . .                                       | 89 |
| <br>15.1. Imagen referencial de un punto de retiro en tienda . . . . .                | 94 |
| 15.2. Diagrama de flujo del proceso de recepción de productos . . . . .               | 95 |

|  |    |
|--|----|
| 15.3. Diagrama de flujo del proceso de reserva y confirmación de productos . . . . . | 96 |
| 15.4. Diagrama de flujo del proceso de entrega de productos . . . . . . . . . . .    | 97 |



# Capítulo 1

## Antecedentes generales

### 1.1. Descripción de la empresa

La historia de Falabella comienza el año 1881 cuando Salvatore Falabella abre la primera gran sastrería en Chile en la calle Ahumada. Muchos años después, en 1958, se introducen productos del hogar para dar paso a la primera tienda por departamentos de Chile. Falabella fue pionera también en lanzar su propia tarjeta de crédito, la tarjeta CMR Falabella. En el año 1996, Falabella abre su propiedad a la Bolsa de Comercio de Santiago y se transforma en sociedad anónima. A la actualidad, S.A.C.I. Falabella es una de las compañías más grandes de América Latina, con presencia en ocho países de la región y en cinco líneas de negocio: tiendas por departamento, mejoramiento del hogar, supermercados, servicios financieros y negocio inmobiliario.

Falabella Retail pertenece a la línea de negocios de tiendas por departamento, siendo una empresa líder en los países donde compite: Chile, Argentina, Perú y Colombia. Además, se posiciona en el puesto 88 de las empresas de retail más importantes del mundo según el Global Power of Retailing 2017, ranking de los 250 retail más grandes del mundo. Falabella cuenta con más de 100 tiendas y más de 700.000  $m^2$  de superficie de venta en total. En la Tabla 1.1 se muestra el detalle por cada país.

|           | Tiendas | Superficie de venta ( $m^2$ ) |
|-----------|---------|-------------------------------|
| Chile     | 47      | 338.698                       |
| Argentina | 11      | 58.978                        |
| Perú      | 29      | 177.298                       |
| Colombia  | 27      | 182.678                       |

Tabla 1.1: Cantidad de tiendas y superficie de ventas por país

Fuente: S.A.C.I. Falabella, Memoria Anual 2018 [11]

A continuación se enuncian las declaraciones fundamentales de la empresa:

- **Misión:** Enriquecer las vidas de los consumidores con una propuesta de experiencia aspiracional, actual y conveniente, colaborando al desarrollo personal y profesional de

nuestros clientes.

- **Visión:** Ser la marca de retail preferida y más querida por las mujeres.

La estructura organizacional de Falabella Retail, en primera instancia se divide en las gerencias de cada país y las gerencias corporativas como se muestra en la Figura 1.1. Luego, para la división de Chile, la estructura organizacional es la que se muestra en la Figura 1.2. Cabe mencionar que este trabajo se realizó en la gerencia de Omnicanalidad, dependiente de la Gerencia de Operaciones, que a su vez depende de la Gerencia Comercial.

La Omnicanalidad es un concepto que tiene como finalidad entregar al cliente diversas opciones de canales de compra y que este reciba la misma experiencia de compra, independiente del canal elegido.

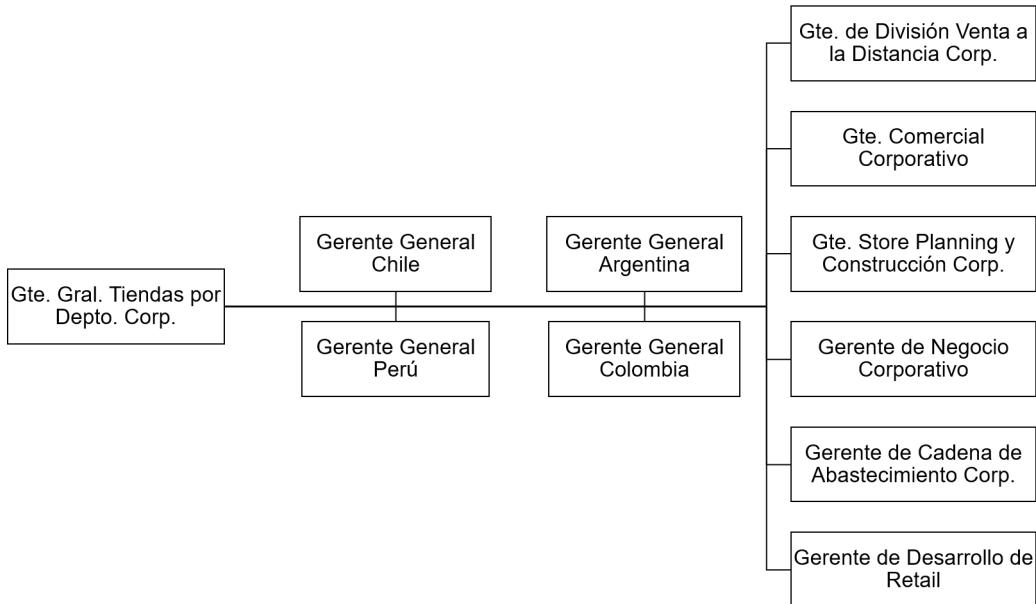


Figura 1.1: Estructura organizacional Falabella Retail

Fuente: Falabella Retail

## 1.2. Mercado

La industria del retail pertenece al sector industrial de la venta minorista o al detalle. En este caso, los productos son comercializados en tiendas físicas u *online*, divididas en departamentos según categorías de productos. Este sector industrial está caracterizado por la comercialización masiva de productos o servicios uniformes a grandes cantidades de clientes y se caracteriza también por ser muy laborioso y extremadamente competitivo [18].

Falabella ha logrado posicionarse en los cuatro países donde opera, logrando tener la mayor participación en dichos mercados. Como se aprecia en la Figura 1.3, en el mercado chileno los mayores competidores de Falabella son Paris (Cencosud) y Ripley, captando estas tres empresas en conjunto más del 60 % de la participación de mercado. Falabella lidera Chile

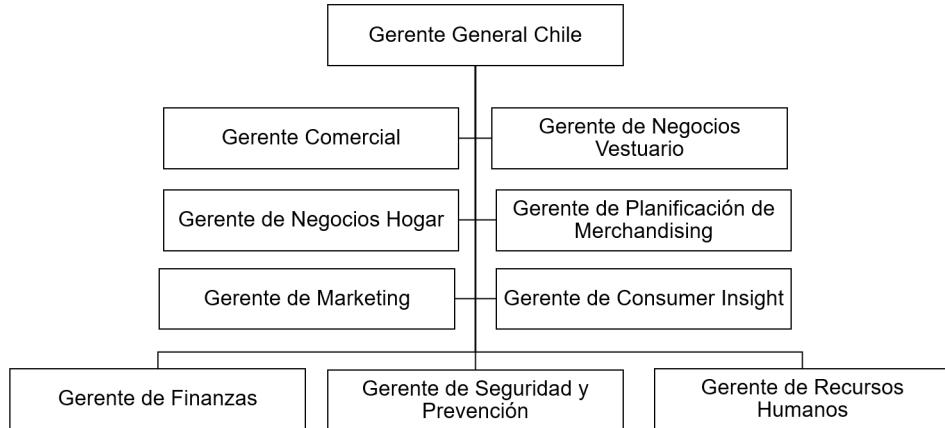


Figura 1.2: Estructura organizacional Falabella Retail Chile

Fuente: Falabella Retail

tanto en participación de mercado como en cantidad de tiendas (ver Tabla 1.2), sin embargo, cabe mencionar que las dos tiendas de Cencosud en conjunto (Paris y Johnsons) concentran el 25 % del mercado y suman 80 tiendas a lo largo del país.

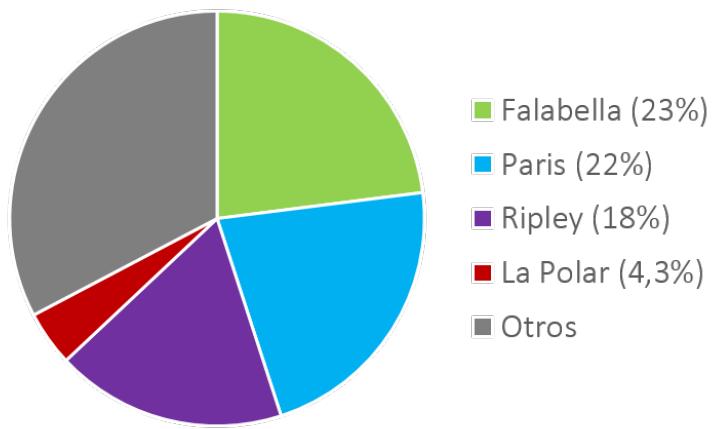


Figura 1.3: Participación de mercado de las tiendas por departamento en Chile  
 Fuente: Elaboración propia en base a Estados Financieros Consolidados de Falabella [11], Cencosud [7], Ripley [24] y La Polar [19]

Otro de los mercados que está sumamente concentrado es el mercado peruano, en donde las empresas chilenas han entrado con fuerza. El mercado es dominado por Falabella y Ripley que en conjunto suman más del 50 % de la participación de mercado [24]. También se encuentra Oeschle, tienda Peruana relegada al tercer lugar luego de que las tiendas ingresaran al mercado. En la Figura 1.4 se muestra la evolución en cantidad de tiendas en el mercado Peruano.

Durante los últimos años, la industria del retail ha experimentado avances a nivel mundial, en parte debido a la globalización y factores económicos, pero también por el avance tecnológico.

| Tienda    | Nº de tiendas |
|-----------|---------------|
| Falabella | 47            |
| Paris     | 45            |
| Ripley    | 47            |
| La Polar  | 39            |

Tabla 1.2: Cantidad de tiendas de los principales competidores

Fuente: Memoria Anual Falabella [11], Cencosud [7], Ripley [24] y La Polar [19]

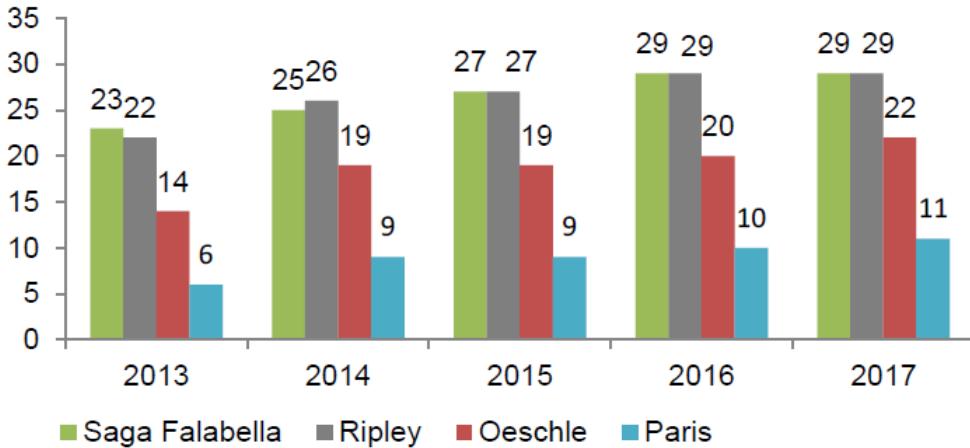


Figura 1.4: Evolución del número de tiendas en Perú

Fuente: Informe anual Saga Falabella S.A. [26]

lógico y el cambio en el comportamiento de los clientes, que cada vez prefieren más el canal *online*. En el año 2015, Nielsen realizó un estudio [17] que afirma que la tendencia del retail debe orientarse hacia la segmentación generacional. En el estudio se realiza la segmentación generacional a nivel global que se muestra en la Tabla 1.3.

| Generación            | Edad  | Porcentaje |
|-----------------------|-------|------------|
| Generación Z          | 0-20  | 20 %       |
| Millenials            | 21-34 | 24 %       |
| Generación X          | 35-49 | 16 %       |
| Baby Boomers          | 50-64 | 24 %       |
| Generación Silenciosa | >60   | 12 %       |

Tabla 1.3: Segmentación generacional global al año 2015

Fuente: Nielsen [17]

En el estudio se mencionaba que al año 2015, el mayor porcentaje del consumo lo realizaba la generación de los Baby Boomers (40 %), sin embargo, se define a la generación de los Millenials como la “generación del futuro”, proyectando que a 2025, el 75 % del consumo del retail se le atribuya a esta generación y se menciona que es la “generación que está cambiando las reglas del juego de las estrategias de mercado, llevándolas a una era más moderna, digital y dinámica”.

La Figura 1.5 muestra la participación del canal *online* del total de ventas del retail a nivel

mundial, en donde se puede ver que el *e-commerce* crece sostenidamente a tasas superiores al 10 % y se espera que para el año 2019, más del 15 % de la venta se realice por internet.

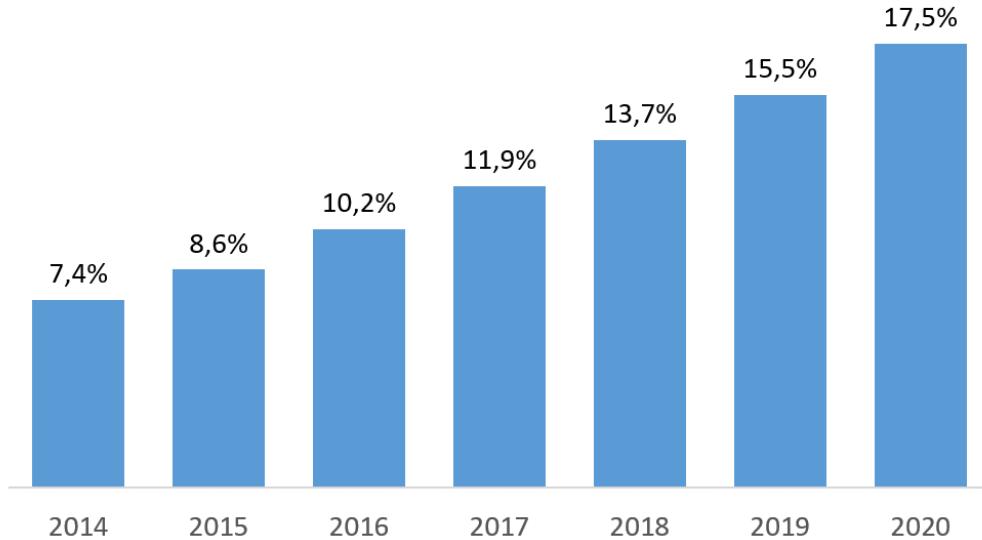


Figura 1.5: Participación el *e-commerce* en las ventas globales del retail  
Fuente: eMarketer, 2017

### 1.3. *Click and Collect*

Dada la competitividad del retail y la creciente importancia que han tomado canales de venta no convencionales, es que las empresas de retail han implementado nuevas estrategias como la omnicanalidad, que se diferencia de la multicanalidad en que, en lugar de que el cliente utilice los diferentes canales por separado, lo haga de manera simultánea. En la literatura, se definió el término omnicanalidad por primera vez en 2011 como “una experiencia de ventas integrada que combina las ventajas de las tiendas físicas con la experiencia rica en información de las compras en línea” [23].

Una de las opciones que ofrece la omnicanalidad es la de realizar compras por internet y retirar en tienda, lo cual recibe el nombre de *Click and Collect* (C&C) o *BOPS* (por las siglas en inglés de “comprar en línea y retirar en tienda”). El modelo del C&C consiste en que los consumidores compran productos *online* y los retiran en un almacén dedicado [13]. El C&C combina las fortalezas de la tienda física con las de la tienda *online* [4], debido a que el cliente tiene la opción de comprar el producto durante las 24 horas del día y elegir cuándo ir a buscarlo a la tienda y sin costo adicional (a diferencia del despacho a domicilio), lo que implica que el cliente se vuelve parte del proceso de distribución [5].

En cuanto a la operación del C&C en Falabella, este funciona únicamente como punto de entrega de productos previamente comprados por internet y puede abastecerse de dos formas diferentes:

- *Site to Store* (STS): abastecimiento por parte del centro de distribución. En la figura

15.2 en anexos se muestra el flujo de los productos para el abastecimiento de tipo STS, en donde, a grandes rasgos, los paquetes llegan una vez al día (en la mañana) en el camión, se descargan, se llevan al C&C, se separan por último número de orden de compra, se ubican y se registra la ubicación.

- *Pickup (PU)*: abastecimiento por parte de la misma tienda. Por lo general el PU se realiza cuando un cliente compra un producto para ser retirado el mismo día o el día siguiente. El proceso del PU requiere que un asistente imprima la orden de reserva y se dirija al piso de ventas a buscar el producto. Una vez encontrado el producto se debe confirmar la recepción, ubicarlo y registrar la ubicación. En caso de que no se encuentre el producto, se cancela la reserva y el cliente recibe la cancelación del pedido. (Ver figura 15.3 en anexos).

Cuando el cliente llega a buscar su pedido saca número con su rut y mientras espera su turno, en trastienda se muestra el pedido asociado al rut y la ubicación de este para que un asistente lo ubique y lo acerque al módulo de atención. Una vez que es el turno del cliente, se valida su identidad y se le entrega el producto previamente ubicado por el asistente de trastienda. (ver Figura 15.4 en anexos).

# Capítulo 2

## Planteamiento del problema

### 2.1. Antecedentes del problema

Falabella, opera con el C&C en los cuatro países donde está entregando productos categorizados como mini ticket, es decir, productos que su volumen no excede al de un televisor de 40 pulgadas. El C&C es sumamente importante para la venta por internet de Falabella, ya que aproximadamente dos de cada tres productos vendidos por internet, se retiran en el C&C.

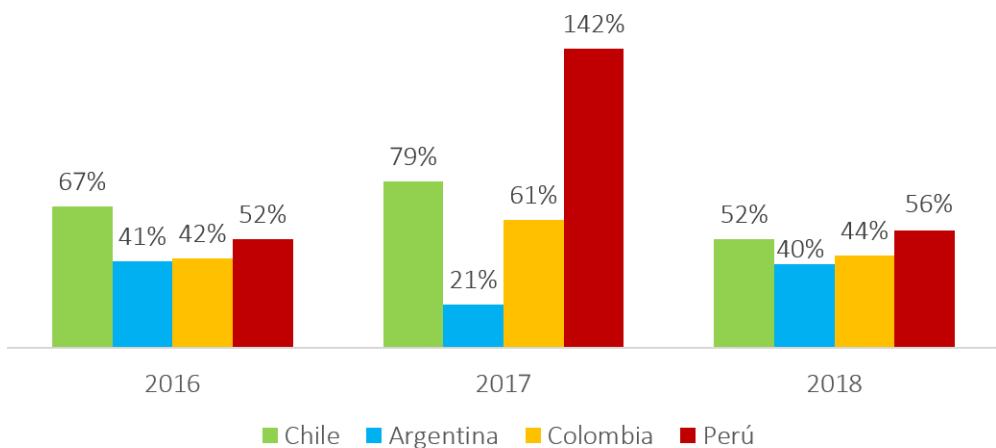


Figura 2.1: Crecimiento del C&C de 2016 a 2018 en unidades entregadas

Fuente: Gerencia de Desarrollo Corporativo, 2018

Como se puede apreciar en la Figura 2.1, año a año, el C&C ha ido en constante crecimiento. En Chile a tasas superiores al 50 %. Y es debido a este crecimiento que se han tomado medidas para reforzar esta forma de entregar los productos: se ha aumentado la capacidad de las bodegas del C&C como se muestra en la Figura 2.2 y cada año se han asignado más horas-persona como se muestra en la Figura 2.3, donde se muestra el porcentaje de horas destinadas al *click and collect* del total de horas contratadas en la tienda.

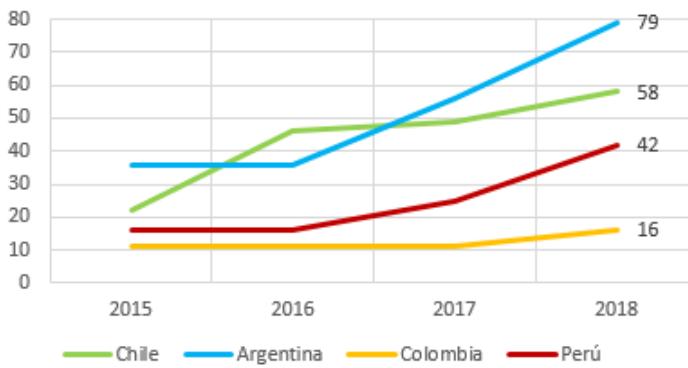


Figura 2.2: Metros cuadrados promedio por bodega del C&C

Fuente: Gerencia de Desarrollo Corporativo, 2018

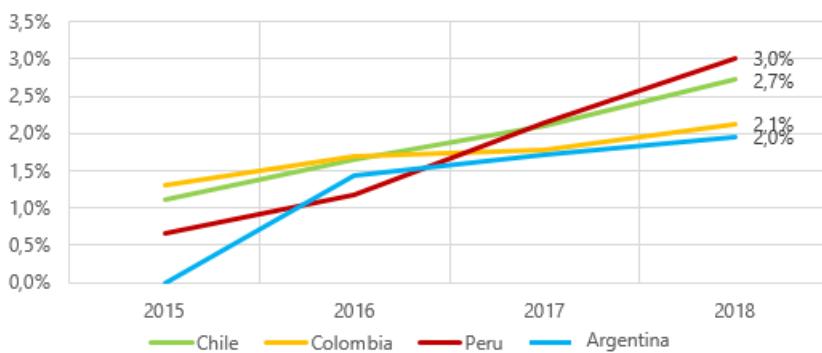


Figura 2.3: Horas contratadas del C&C del total de horas contratadas de la tienda

Fuente: Gerencia de Desarrollo Corporativo, 2018

La demanda del *click and collect* se divide en tres tareas principales:

- Demanda de entregas: actividad principal del C&C. Es muy similar a la distribución de las ventas en la tienda física, ya que requiere que el cliente se acerque a la tienda a retirar su producto. Las entregas se realizan exclusivamente en los horarios en que se encuentra abierta la tienda.
- Recepción y ubicación de productos: como se mencionó en el capítulo anterior, una vez al día, durante la mañana llega el camión desde el centro de abastecimiento y se debe recepcionar y ubicar los productos. Esta tarea comienza antes de la apertura de la tienda y depende del horario de llegada del camión<sup>1</sup>.
- Reserva y confirmación de productos: cuando se asigna el método *pickup* para el abastecimiento del C&C, es necesario que una persona se dirija al piso de ventas a buscar el producto para luego ubicarlo y confirmarlo. Esto sucede durante todo el día, sin embargo, la mayor cantidad de confirmaciones se realizan en las primeras horas de funcionamiento del C&C en la mañana, debido a que se acumulan todas las reservas de compras que se realizaron durante la noche y la madrugada. Existe un incentivo con respecto al tiempo de confirmación si este es inferior a 30 minutos, pero el tiempo de confirmación se considera entre las 10:30 y las 20:00.

<sup>1</sup>Por lo general los camiones llegan todos los días en un rango de hora similar, existe un KPI para llevar seguimiento del cumplimiento del horario planificado

En la industria del retail que es altamente competitiva, hay que lidiar con volúmenes de demanda que varían dramáticamente en el transcurso de un día [9], y es por eso que el objetivo de las empresas de retail es minimizar los costos laborales al tiempo que se mantienen los mejores niveles posibles de servicio al cliente, pero incluso los que cuentan con sofisticados sistemas de planificación de la fuerza laboral pueden verse confrontados en diferentes momentos de la semana con exceso de personal o problemas de escasez de personal en otros momentos [12].

El exceso de personal implica tiempo ocioso de los trabajadores, es decir, se está invirtiendo por tener personas en el C&C en horas que no son necesarias, lo que implica un costo por cada hora ociosa. El costo del tiempo ocioso de los trabajadores es el costo de la hora-persona en que la compañía incurre al tener personas trabajando.

Por otro lado, tener escasez de personal tiene un costo asociado difícil de cuantificar, asociado a las siguientes posibles consecuencias:

- Aumento en el tiempo de confirmación de reservas, puesto que al haber menos cantidad de personas y querer priorizar la atención, se deja de lado la confirmación de los productos, lo cual es grave ya que como se muestra en la Figura 2.4 existe una correlación positiva entre el tiempo de confirmación y la tasa de rechazo (porcentaje de clientes que cancelan su compra).

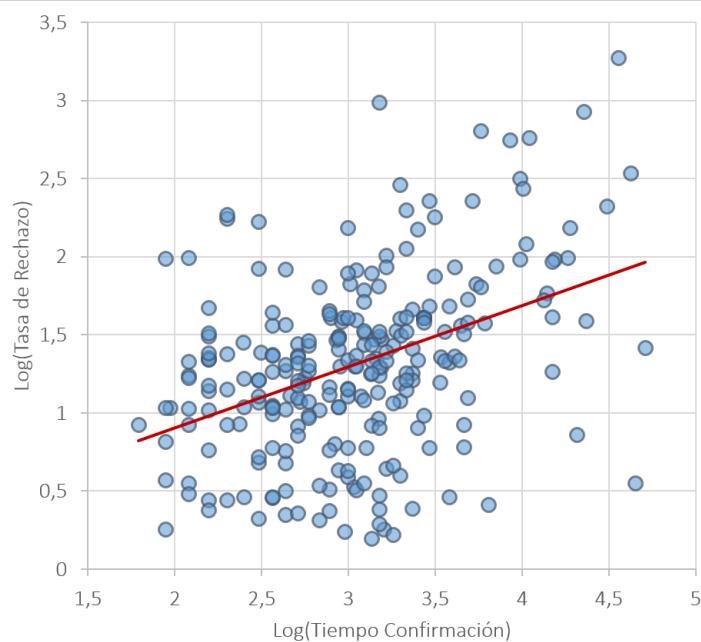


Figura 2.4: Relación entre tiempo de confirmación y tasa de rechazo

Fuente: Elaboración propia en base a datos mensuales de todas las tiendas entre septiembre de 2018 y febrero de 2019

- Disminución de la calidad de la atención, ya que al contar con menos personas de las necesarias, la capacidad de atención disminuye y con ello, aumenta el tiempo de espera de los clientes. También existe la posibilidad de que al priorizar la atención, no se termine de ubicar todos los productos recepcionados en la mañana, lo que eventualmente

podría desencadenar en que no se encuentre el producto de un cliente que va a retirar su producto.

Es importante mantener un buen servicio, ya que esto ayuda a fidelizar clientes. Según el estudio sobre las tendencias del retail, realizado por Nielsen [17], la calidad de servicio es la segunda razón más importante (después de encontrar un mejor precio) por la que los consumidores cambian su comportamiento de compra.

Por lo mencionado anteriormente, es necesario contar con jornadas y turnos variados que permitan abordar la demanda esperada, pero manteniendo un buen nivel de servicio y tratando de disminuir lo más posible la cantidad de horas ociosas.

## 2.2. Justificación del problema

En base a los tipos de demanda mencionados anteriormente y a tiempos estimados, se puede crear una curva de demanda de horas-persona. En la Figura 2.5, en color azul se muestra la demanda de horas-persona estimada para una tienda y en naranjo se muestra las horas-persona con las que efectivamente contó la tienda.

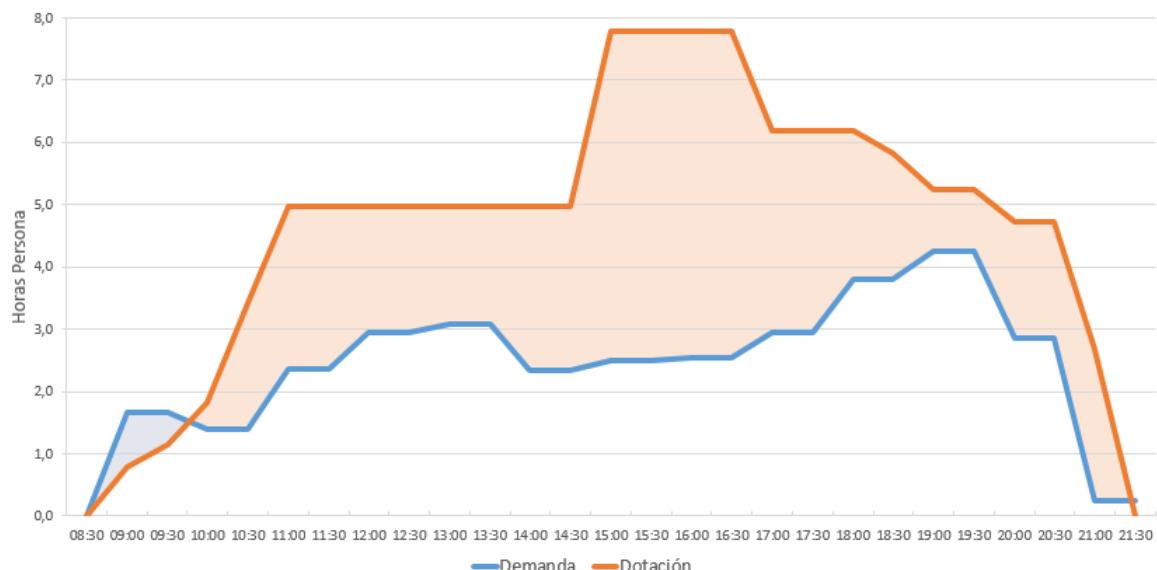


Figura 2.5: Demanda promedio de horas y horas contratadas según dotación de la tienda  
Fuente: Elaboración propia en base a datos de enero de 2019

El área de color azul representa escasez de personal, mientras que el área color naranjo representa el tiempo ocioso de las personas contratadas. Es evidente ver en el gráfico que la configuración del personal no es la óptima, ya que se requiere de personal en la mañana, mientras que el resto del día se cuenta con sobre dotación.

Durante el año 2018, para las tiendas de Chile, se contrató en total 679.632 horas y en base a la demanda de horas-persona estimada, se llegó a la conclusión que 278.649 de dichas horas (41 %) es tiempo ocioso de los trabajadores. Lo cuál en términos monetarios implica que la compañía incurrió en un gasto de 585 millones de pesos en horas ociosas.

Cada año, las horas asignadas por presupuesto al C&C van en aumento, dado el crecimiento de la demanda del canal digital. Es por esto, que se tiene como cota inferior la cantidad de horas asignadas el año 2018, se asumirá 680.000 para un cálculo más sencillo. Además, es ingenuo pensar que las personas trabajarán al mismo ritmo sin parar, ya que la productividad de una persona no es el 100 % durante todo el día. Es por esto, que se generan 3 distintos escenarios de reducción de horas-persona: un escenario optimista con una reducción de 25 %, un escenario realista con una reducción del 20 % y un escenario pesimista con una reducción del 15 % de las horas-persona. En la Tabla 2.1 se muestra el impacto mínimo que tendría la reducción de horas contratadas en los escenarios previamente mencionados.

| Escenario | Reducción (%) | Ahorro (hrs) | Ahorro (M \$) |
|-----------|---------------|--------------|---------------|
| Optimista | 25 %          | 170.000      | 375           |
| Realista  | 20 %          | 136.000      | 285,6         |
| Pesimista | 15 %          | 102.000      | 214,2         |

Tabla 2.1: Impacto de la reducción de horas contratadas en distintos escenarios

Fuente: Elaboración propia

Es importante mencionar que una buena configuración de jornadas y turnos permite disminuir la cantidad de tiempo ocioso, pero también reforzar horarios en que se requiere de más personal, con la finalidad de entregar un buen servicio e impactar de forma positiva la experiencia del cliente.

## 2.3. Indicadores importantes

A continuación se mencionan los indicadores importantes ligados a la cobertura de la demanda en el C&C. Estos indicadores permiten poner un punto de comparación de la situación actual en el C&C.

### 2.3.1. Productividad

La productividad del *click and collect* se define como las unidades entregadas por hora-persona contratada. Por lo tanto, a menor cantidad de tiempo ocioso, mayor es la productividad. La productividad durante el año 2018 fue de 5,1 unidades/hora-persona.

### 2.3.2. *Net Promoter Score*

El *Net Promoter Score*, más conocido por sus siglas NPS, es una medida de satisfacción del cliente introducida por primera vez por Reicheld en 2003 y que se basa en un simple principio: preguntarle al cliente si recomendaría la compañía en una escala de 0 a 10, dada la experiencia que recibió. Este indicador refleja lealtad a la empresa y futuro crecimiento, ya que un cliente al recomendar la empresa está poniendo su reputación en juego [21].

Se consideran 3 tipos de clientes: los detractores (que respondieron con valores de 0 a 6), los pasivos (7 - 8) y los promotores (9 - 10). Luego el NPS se calcula como:

$$NPS = \%Promotores - \%Detractores$$

Para el C&C se calculan dos tipos de NPS, en base a dos preguntas al cliente: NPS de Amabilidad y NPS de Rapidez. Estos indicadores son los que se utilizarán para monitorear la calidad del servicio recibida. El NPS de la compañía se muestra en la Figura 2.6. En la actualidad el NPS de Amabilidad es de 61 y el NPS de Rapidez es de 60.

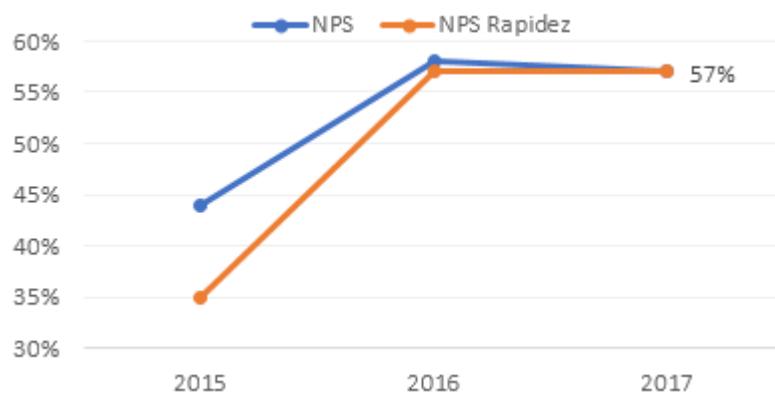


Figura 2.6: NPS y NPS Rapidez C&C

Fuente: Gerencia de Omnipresencia, 2018

El NPS es una métrica de calidad de servicio por lo que esta métrica abarca muchos ámbitos de la atención y se puede ver influenciado por muchos factores. Por ejemplo, recientemente se están enviando productos desde un nuevo centro de abastecimientos al C&C y este centro tiene un problema sistémico que si bien los productos llegan a las tiendas, estos no pueden ser recepcionados. Esto implica que cuando el cliente va a buscar su producto este no aparezca ubicado en el sistema. Es por este problema que el NPS del C&C ha caído de 60 a 40 aproximadamente.

Dada esta situación, se optará por introducir un nuevo indicador de nivel de servicio, el tiempo de espera en fila.

### 2.3.3. Tiempo de espera en fila (TEF)

Este indicador muestra el tiempo promedio que un cliente espera antes de ser atendido. Está medido en minutos y más adelante se especificará cuál es el costo asociado a este indicador.

# Capítulo 3

## Objetivos

### 3.1. Objetivo General

Disminuir la cantidad de horas persona utilizadas en el *click and collect* de Falabella Retail en un 20 % mediante una nueva configuración de jornadas, turnos y rotaciones que permita mantener su calidad de servicio medida en tiempo de espera en fila.

### 3.2. Objetivos Específicos

- Levantar información de la situación actual, dentro de lo que se destaca los tipos de jornadas laborales, rotaciones, horarios, restricciones legales y data histórica relevante.
- Analizar la distribución de la demanda del *click and collect* a diferentes tipos de agregación (hora, día, semana, mes) que será utilizada como insumo para el modelo.
- Levantar información referente a la percepción de las personas sobre el tiempo de espera en fila mediante una encuesta.
- Analizar los datos de la encuesta y cuantificar el costo asociado al tiempo de espera en fila.
- Crear modelo que cumpla con las restricciones de la tienda y al menor costo posible.
- Interpretar el modelo y evaluar resultados comparando los resultados del modelo con la situación actual.
- Realizar un análisis de sensibilidad asociado a los costos y la flexibilidad de los contratos.

# Capítulo 4

## Marco teórico

El problema de dotación óptima pertenece a un problema de Scheduling, que tiene como finalidad encontrar “prioridades” y “capacidades” [27].

Específicamente, se trata de un problema de personnel scheduling o rosting, cuyo objetivo es asignar el número correcto de empleados en el momento y lugar correctos, para responder a una demanda esperada, al mismo tiempo que se satisfacen las limitaciones organizativas y, en la medida de lo posible, las preferencias de los empleados [10].

El problema de personnel scheduling se ha abordado en diferentes áreas como en la asignación de turnos de enfermeras (nurse scheduling), problema estudiado hace mucho tiempo y que, al tener una gran cantidad de restricciones, es un problema de difícil solución [14]. En 1999, Abdennadher y Schlenker [1] propusieron un método de resolución mediante constraint logic programming.

El problema de personnel scheduling en call center es abordado por Canon en [6], proponiendo una solución mediante programación entera mixta y la heurística de búsqueda local Tabu search, en donde una vez que se determina una potencial solución se marca como “tabú” para no volver a visitarla.

En cuanto a la industria del retail, no existe tanta literatura asociada al personnel scheduling como en las áreas mencionadas anteriormente, sin embargo, se destacan los siguientes trabajos:

En [8] se introduce un modelo estadístico y de programación matemática, en donde se realiza un forecast de la demanda de forma estocástica y luego se resuelve el problema mediante programación entera mixta.

En [12] se analiza el impacto de asignar personal con múltiples habilidades. Mediante la programación entera mixta, se determina qué empleados están preparados para trabajar en qué actividades y su asignación en un horizonte de tiempo.

En [2] se resuelve el problema dotación óptima mediante las heurísticas de algoritmo genético y Branch and Bound y se realiza una comparación entre ellas, con resultados similares.

En [25] se resuelve el problema de scheduling mediante la heurística de generación de columnas para una farmacia, asignando turnos para diferentes tipos de trabajo.

En Chile, se han realizado trabajos de memoria que buscan encontrar la dotación óptima de la fuerza de venta para una cadena de retail. Se destaca el trabajo de Prieto [20] y Reyes [22] en donde se calcula número de trabajadores que serán necesarios en cada mes, departamento y tipo de jornada minimizando los costos mediante programación lineal, en [16] se realiza el mismo trabajo, pero utilizando programación entera mixta, al igual que en [3], donde se optimiza los turnos de cajeros.

Existe un trade-off entre las técnicas utilizadas para resolver el problema de scheduling. Por un lado, se puede obtener una solución óptima utilizando programación matemática, sin embargo, al ser un problema complejo, el tiempo de resolución y recursos utilizados es demasiado alto, ya que aumenta exponencialmente de acuerdo con la cantidad de variables y restricciones. Por otro lado, se tienen heurísticas como Branch and bounds, Branch and Price o Generación de Columnas que permiten resolver el problema utilizando menor cantidad de recursos, pero llegando a óptimos locales.

Considerando que en el *click and collect* de Falabella se está contratando personas con un único cargo, que puedan desarrollar todas las funciones requeridas (entregar productos, *pickear* reservas de productos o ubicar productos), la cantidad de restricciones no se vería aumentada en gran medida, por lo cual se opta por un modelo de programación entera mixta, puesto que se requiere encontrar la cantidad óptima de personal junto con el turno y tipo de jornada (variables enteras) y se pretende encontrar un mínimo global del problema.

# Capítulo 5

## Alcances y resultados esperados

La formulación del modelo se realizará de forma genérica y podrá ejecutarse para cualquiera de los puntos de retiro en tienda de Falabella Retail Chile, esto ya que se tiene un mayor acceso de información de las tiendas de Chile puesto que en caso de requerir algún tipo de información se puede pedir directamente al encargado en la oficina central. A esto se suma la imposibilidad de asistir a las tiendas de los demás países para levantar información necesaria. Pese a que se levantará la información para ejecutar el modelo para todas las tiendas, para evaluar resultados, el modelo se ejecutará en dos tiendas representativas debido al tiempo disponible y se evaluarán los resultados del modelo contra la situación actual en dichas tiendas. Si bien el modelo tiene como alcance las tiendas de Chile, se espera que sea generalizable y funcione de forma similar al entregarle parámetros y restricciones de otros países, pero sería necesario recolectar dicha información.

Luego de la realización del modelo se espera obtener los siguientes resultados:

- Disminución del tiempo ocioso de los trabajadores: se espera que la distribución de las horas en base a la configuración entregada por el modelo se ajuste de una mejor manera a la distribución de las horas requeridas, por lo que se espera tener una disminución en el tiempo ocioso de los trabajadores, junto con una mejor respuesta en horarios *peak*.
- Disminución en los costos de horas hombre contratadas: puesto que se disminuirán los tiempos ociosos de los trabajadores y se tendrá una configuración de horas contratadas más ajustada a la demanda, se espera que sea necesario contratar menor cantidad de horas, por lo que esto implicará una disminución en los costos de personal.
- Aumento de la productividad: en la misma línea de los resultados esperados mencionados anteriormente, se espera que se realice la misma cantidad de entregas, pero requiriendo menor cantidad de horas contratadas, lo cual implicaría un aumento de la productividad del click and collect que es el objetivo principal de esta memoria.
- No aumento del indicador de calidad de servicio (TEF): se espera que el tiempo promedio en fila de los clientes sea un tiempo adecuado, de tal manera que no se exceda el nivel en el cual esto represente un costo mayor para la empresa.

# Capítulo 6

## Metodología

Para abordar el problema de la distribución deficiente de personal del click and collect de Falabella Retail, se pretende seguir la metodología que se enuncia a continuación:

1. En primer lugar, se realizará un levantamiento de información en el cual se deberá obtener información con respecto a los tipos de jornadas laborales que se puede contratar (full-time, part-time, media jornada, entre otros). Junto con esto, se deberá captar información legal asociada a los contratos laborales, por ejemplo, la cantidad de días libres establecidas por ley o la posibilidad de trabajar días feriados dependiendo del tipo de jornada. También se realizará una estimación del tiempo requerido para cada tarea dentro del click and collect. Se levantará información sobre las tiendas: horario de apertura, de cierre y tiempo de almuerzo. Y finalmente, se levantará información histórica asociada a las unidades recepcionadas, reservadas y entregadas en el click and collect para cada tienda.
2. Se realizará un estudio de los diferentes tipos de requerimientos (recepción, reservas y entregas) para cada tienda utilizando la data histórica recolectada en la etapa de levantamiento, con el fin de encontrar la distribución de estas demandas dentro de cada día de la semana para, de esta forma saber cómo se distribuirá la demanda determinística pronosticada por la empresa dentro de cada día de la semana, puesto que se realiza una predicción de demanda por parte de la tienda, sin embargo, esta se realiza de forma agregada mensualmente. Luego, en base a los tiempos estimados para cada tipo de tarea, se traducirá la suma de estas demandas a la demanda por horas hombre.
3. El tercer paso consiste en la creación de una encuesta que permita levantar información sobre los clientes y su percepción sobre el tiempo de espera para recibir el producto.
4. Luego, se procederá a analizar los resultados de la encuesta con el objetivo de encontrar la disposición a espera máxima y establecer esta como restricción.
5. El quinto paso consiste en la formulación de un modelo matemático de programación entera mixta que, en base a una serie de restricciones laborales, de turnos y de satisfacción de demanda que cuente con restricciones fuertes (como las legales) y restricciones suaves que se cumplan idealmente asociando costos en la función objetivo.
6. Ya con el modelo realizado y la información levantada, se procederá a escribir y ejecutar el modelo en un programa que resuelva este tipo de problemas. Se tiene como

alternativas los softwares AMPL, GAMS y Python con la librería PyOmo. Cualquiera sea el software a utilizar, se ocupará el solver CPLEX que sirve para resolver problemas de programación entera mixta. Luego de ejecutar los resultados se procederá a realizar una interpretación de los resultados obtenidos y compararlos con la situación actual.

7. Se evaluarán los resultados obtenidos y se ajustarán los parámetros o restricciones si fuera necesario y se realizarán nuevamente los puntos 5 y 6.
8. Una vez obtenidos los resultados del modelo, se procederá a evaluar los resultados obtenidos. Esto se realizará mediante una comparación de la situación actual con la configuración entregada por el modelo, calculando la cantidad de horas persona ocupadas y el déficit/superávit con respecto a lo requerido. Además, se validarán los resultados con el jefe del C&C de dos tiendas y así ver la factibilidad del resultado del modelo.
9. Lo siguiente será realizar un análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo, de tal forma de poder comparar los niveles de servicio y la disminución en tiempo ocioso al agregar mayor flexibilidad a las jornadas laborales. También se evaluarán escenarios para realizar recomendaciones ante variaciones en los parámetros.
10. Finalmente se realizará la creación de un interfaz para que se pueda calcular la dotación óptima en situaciones futuras de una manera intuitiva. Esta interfaz deberá recibir planillas de Excel como input con los parámetros requeridos y deberá entregar una planilla de Excel con la dotación óptima para cada tienda.

# Capítulo 7

## Levantamiento de información

### 7.1. Estudio de demandas

#### 7.1.1. Recepción de productos

La recepción de productos se realiza únicamente en la mañana, ya que de no existir un caso especial, el C&C se abastece desde el centro de abastecimiento una vez al día. En la Figura 7.1 se muestra la cantidad de unidades recepcionadas diariamente durante el año 2018. De la figura se desprende que existe una estacionalidad semanal puesto que los días más bajos de unidades recepcionadas son los días lunes y domingo, por eso la forma u invertida.

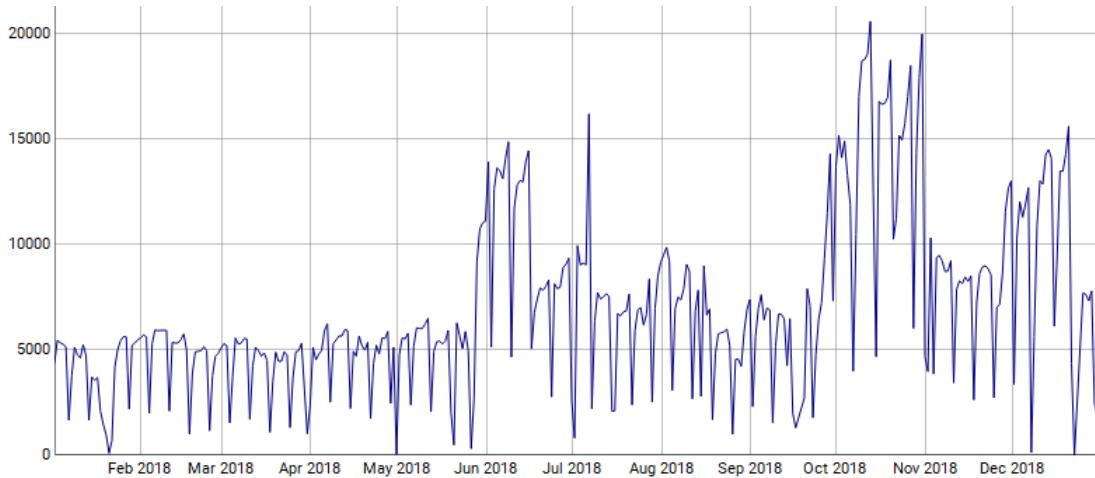


Figura 7.1: Unidades recepcionadas diariamente durante el año 2018

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

Luego, también se puede apreciar, que existen épocas del año en donde aumentan drásticamente las unidades recepcionadas, lo cuál es producto de los eventos: el primer aumento drástico se provoca a finales de mayo, que corresponde a la fecha del primer CyberDay del año, luego en octubre se produce el segundo aumento, dado por el segundo CyberDay del año,

finalmente en noviembre y diciembre, las cantidades recepcionadas son mayores que el resto del año normal, debido a las compras de navidad. Cabe mencionar que si bien, los eventos CyberDay tienen una duración de 3 días, la entrega de los productos comprados durante dichos días, se realiza pasado los 20 días de terminado el evento.

### 7.1.2. Reserva de productos

Al analizar la cantidad de reservas diarias durante el año (ver Figura 7.2), se puede ver que las unidades reservadas se ven mucho más marcadas por los eventos y por épocas importantes en el año. Esto ocurre debido a que, para los eventos se decide aumentar la cota<sup>1</sup> de *pickup* de las tiendas sólo durante los eventos.

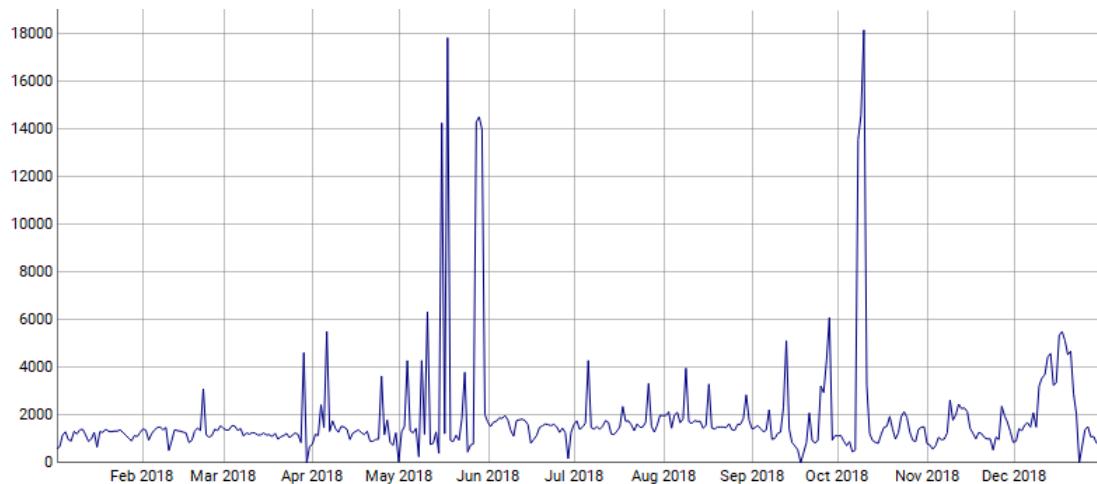


Figura 7.2: Cantidad de reservas diarias durante el año 2018

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

Si bien existe una estacionalidad dentro de la semana, esta no es tan marcada como en la recepción de productos. En la Figura 7.3 se muestra la distribución de las reservas durante el día para cada día de la semana, en donde se puede apreciar que la gran mayoría de las reservas se encuentran a primera hora, lo cual se debe a que en dicho horario se concentran las reservas de las compras que se realizaron durante la noche y la madrugada.

Al ver la cantidad de reservas en los horarios que no son el primero, se puede apreciar que de lunes a viernes (Figura 7.4), la distribución de las reservas durante el día se comporta de manera muy similar y va decayendo a medida que transcurre el día. Por otro lado, en el fin de semana (Figura 7.5), las reservas de productos se realizan de forma más uniforme a lo largo del día.

---

<sup>1</sup>Cantidad máxima de productos que se pueden confirmar.

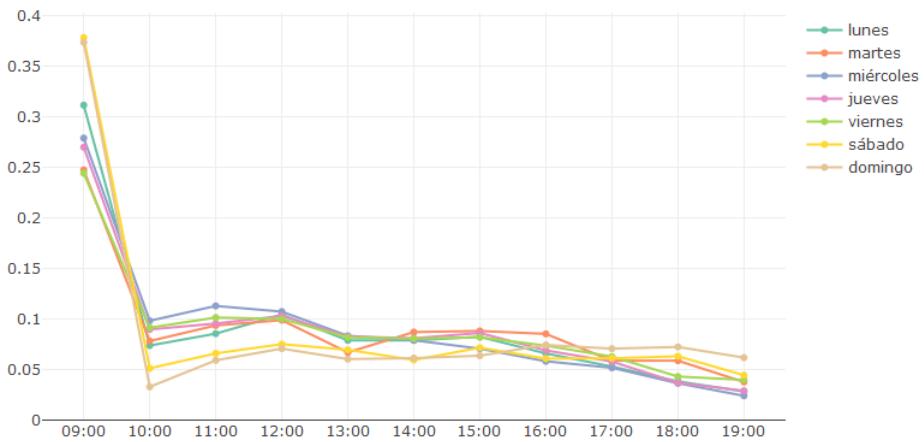


Figura 7.3: Distribución de reservas durante el día por día de semana

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

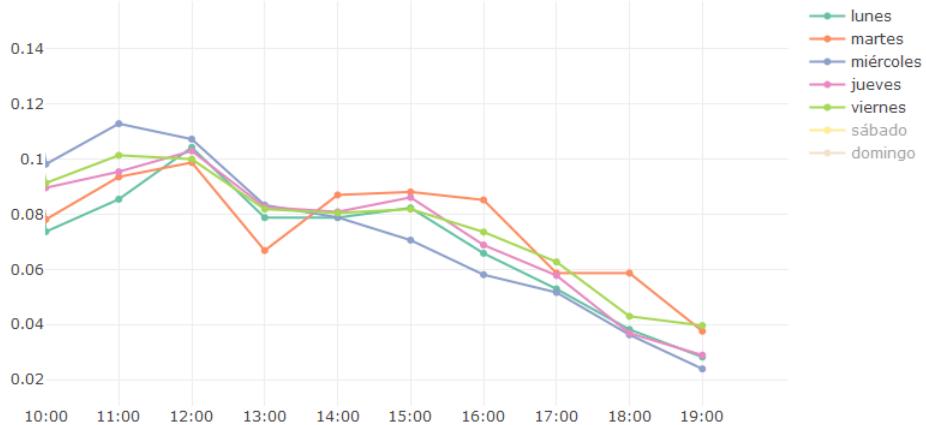


Figura 7.4: Distribución de reservas durante el día semana laboral

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

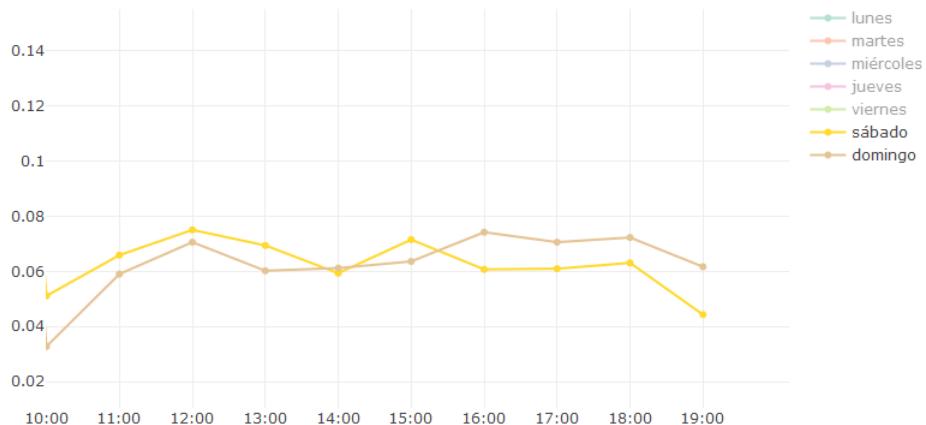


Figura 7.5: Distribución de reservas durante el día por día fin de semana

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

### 7.1.3. Entrega de productos

Con respecto a la cantidad entregada durante el año, en la Figura 7.6 se muestra la cantidad diaria entregada, en donde se puede ver una clara estacionalidad semanal y aumentos en la demanda que coinciden con los eventos ya descritos en la recepción de productos.

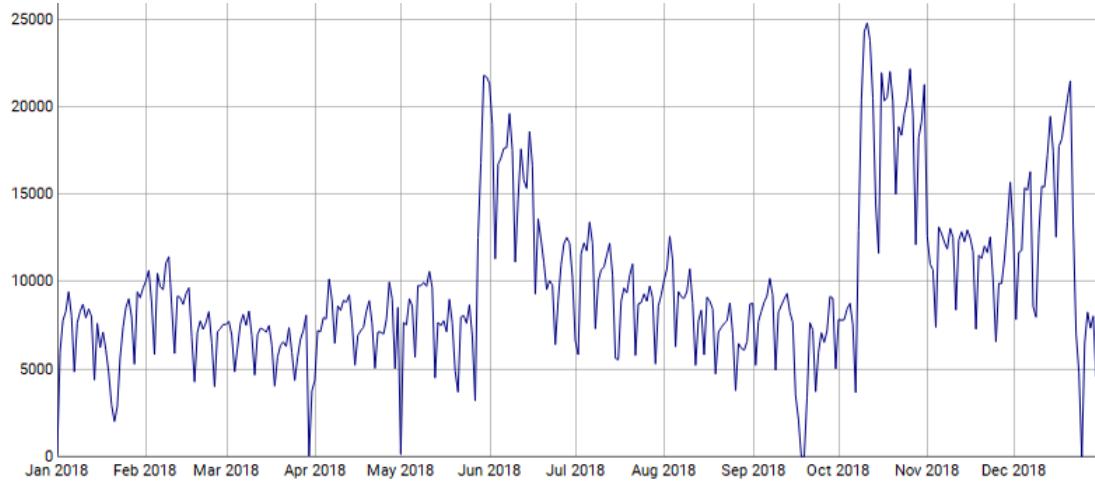


Figura 7.6: Cantidad de entregas diarias durante el año 2018

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

Analizando la distribución de las entregas a lo largo de un día y por día de la semana a nivel agregado se aprecia en las Figuras 7.7 y 7.8. Donde se aprecia que de lunes a jueves se tiene una distribución muy similar (siendo el lunes el día con menor cantidad de entregas) con un *peak* de entregas en la tarde entre 18:00 y 20:00 y un *peak* menor a la hora de almuerzo, entre 13:00 y 15:00. El día viernes es muy similar, sin embargo el mayor *peak* ocurre aproximadamente una hora antes. La distribución de entregas se comporta de forma diferente los fines de semana, donde la cantidad de entregas está distribuida de forma más uniforme, sin *peaks* tan marcados.

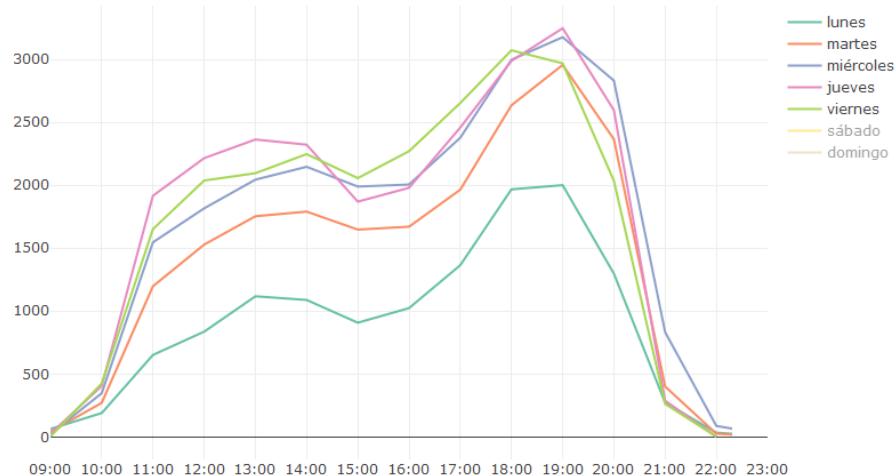


Figura 7.7: Distribución de entregas durante el día en una tienda de mall, semana laboral

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

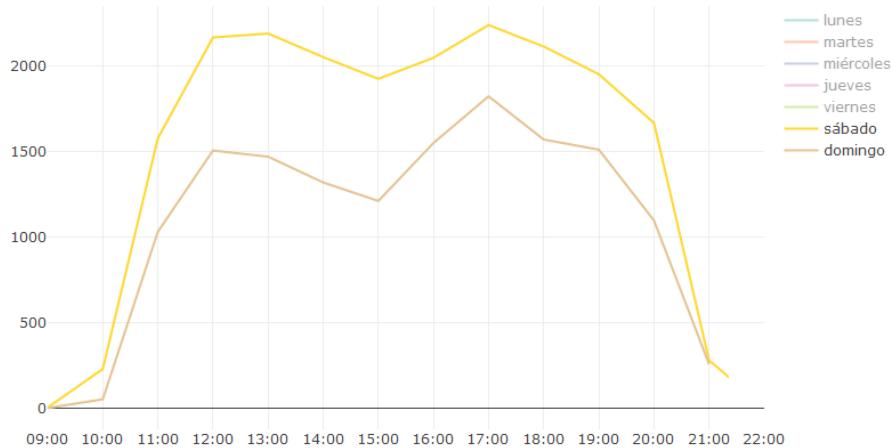


Figura 7.8: Distribución de entregas durante el día en una tienda de mall, semana laboral  
Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

Si bien en la Figura 7.6 se ve claramente que existe una estacionalidad semanal en las unidades entregadas, esta estacionalidad varía para cada tienda. Las tiendas se pueden caracterizar por tamaño o zona geográfica, pero una forma en que se puede agrupar a las tiendas según su comportamiento es por tipo:

- Tiendas de Centro: las tiendas de centro se caracterizan por estar en lugares centrales en las ciudades, ubicado cerca de lugares comerciales y oficinas. Estas tiendas se caracterizan por realizar una alta cantidad de entregas de lunes a viernes, pero bajo volumen los fines de semana (ver Figura 7.9). Además por el hecho de situarse cerca de oficinas y lugares de trabajo, se pueden ver dos *peaks* bien marcados que coinciden con la hora de almuerzo y la hora de salida de oficinas (ver Figura 7.10).

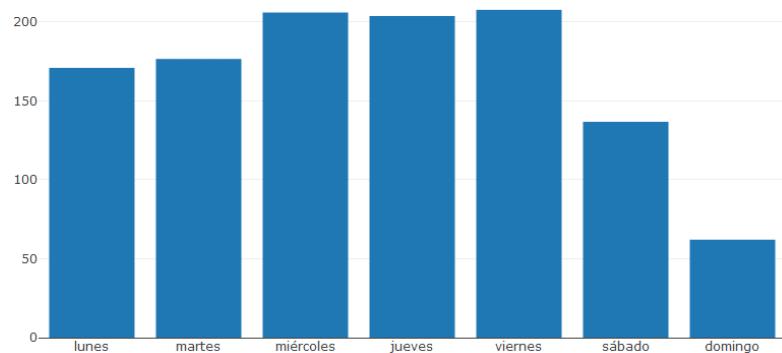


Figura 7.9: Entregas promedio por día de la semana, tiendas de centro  
Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

- Tiendas de Mall: las tiendas de mall son tiendas que se encuentran en lugares no tan centrales, generalmente son parte de grandes malls. Estas tiendas se caracterizan por no tener un fin de semana más fuerte en entregas que las tiendas de centro. En la Figura 7.11 se puede ver que el día sábado se entrega tantas unidades como otro día de la semana laboral. En la Figura 7.12 se puede ver que las tiendas de mall también

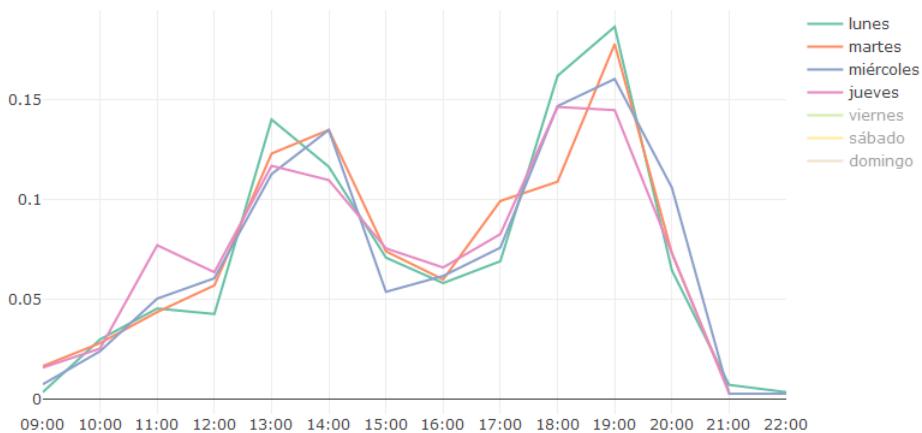


Figura 7.10: Distribución de entregas durante el día en una tienda de centro, semana laboral

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

se caracterizan por tener sólo un *peak* bien marcado y que este es levemente más tarde que en las tiendas de centro. Esto tiene sentido, ya que al estar en lugares no tan centrales, realizan la mayor cantidad de sus entregas luego que las personas regresan de sus trabajos.

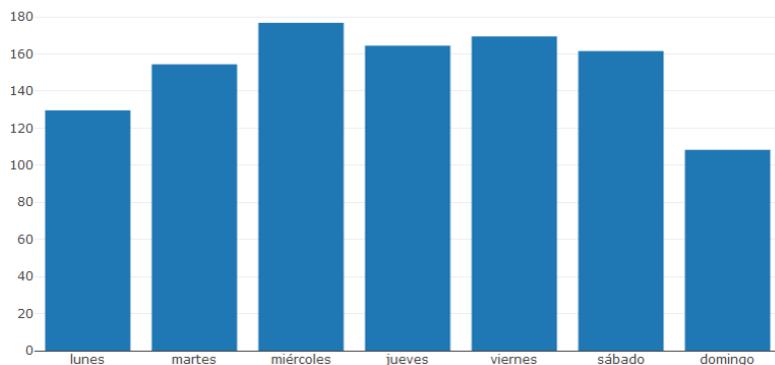


Figura 7.11: Entregas promedio por día de la semana, tiendas de centro

Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

## 7.2. Estimación de tiempos promedios

Para poder definir la curva de demanda por horas-persona del *click and collect* fue necesario estimar los tiempos promedios (en horas-persona) utilizados para cada una de las demandas mencionadas anteriormente.

Para realizar las estimaciones, se realizaron mediciones en diferentes tiendas de características heterogéneas, de tal manera de tener una muestra lo más heterogénea posible.

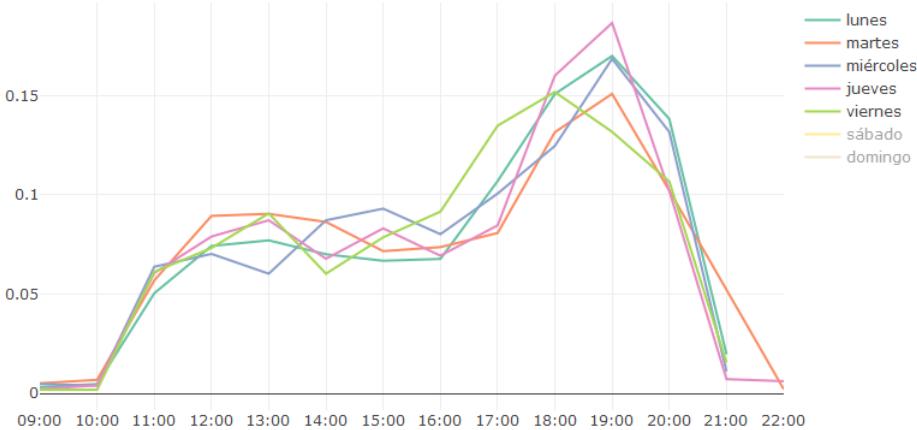


Figura 7.12: Distribución de entregas durante el día en una tienda de mall, semana laboral  
Fuente: Elaboración propia en base a datos transaccionales

### 7.2.1. Estimación de tiempo de ubicación

Para realizar la estimación de tiempo de ubicación, se midió el tiempo desde que se comenzaban a separar los bultos por último número de orden de compra hasta que se terminaba de ubicar el último producto, esto fue realizado a través de cámaras de seguridad y para cada tienda, se midió la ubicación en tres días diferentes en el mes de enero. El tiempo utilizado en la ubicación se ponderó por la cantidad de personas que trabajó en la ubicación (aún por tramos) y finalmente, se dividió por la cantidad de bultos recepcionados (este valor se obtuvo directamente de la base de datos mediante una consulta SQL)

Por ejemplo: si se recepcionaron 300 bultos, el proceso demoró una hora y en la primera media hora trabajaron 3 personas y en la segunda media hora trabajaron 2 personas, el tiempo de ubicación promedio por bulto se calculó como:

$$\bar{t} = \frac{30[min] \cdot 3 + 30[min] \cdot 2}{300} \frac{60[seg]}{1[min]} = 30[seg]$$

En la Figura 7.13 se muestran los resultados, obteniendo como tiempo promedio 23 segundos por bulto. Cabe mencionar que las tiendas con mayor tiempo promedio por bulto son tiendas que cuentan con bodegas más grandes o bien que realizan el proceso de forma ineficiente. Esto último ya está siendo abordado y se han definido estándares en los procedimientos para que todas las tiendas trabajen de la misma manera.

### 7.2.2. Estimación de tiempos de entrega

Para el cálculo de el tiempo de entrega promedio, se realizó un proceso similar al anterior: se midió tanto en tienda como mediante cámaras el tiempo que demoraba cada cliente desde que llegaba al módulo de atención hasta que se retiraba con su producto. La medición se llevó a cabo en 13 tiendas y para cada tienda se tomaron 100 mediciones. Las mediciones se realizaron la semana del 4 febrero de 2019 y los resultados se pueden observar en la Tabla 7.1.

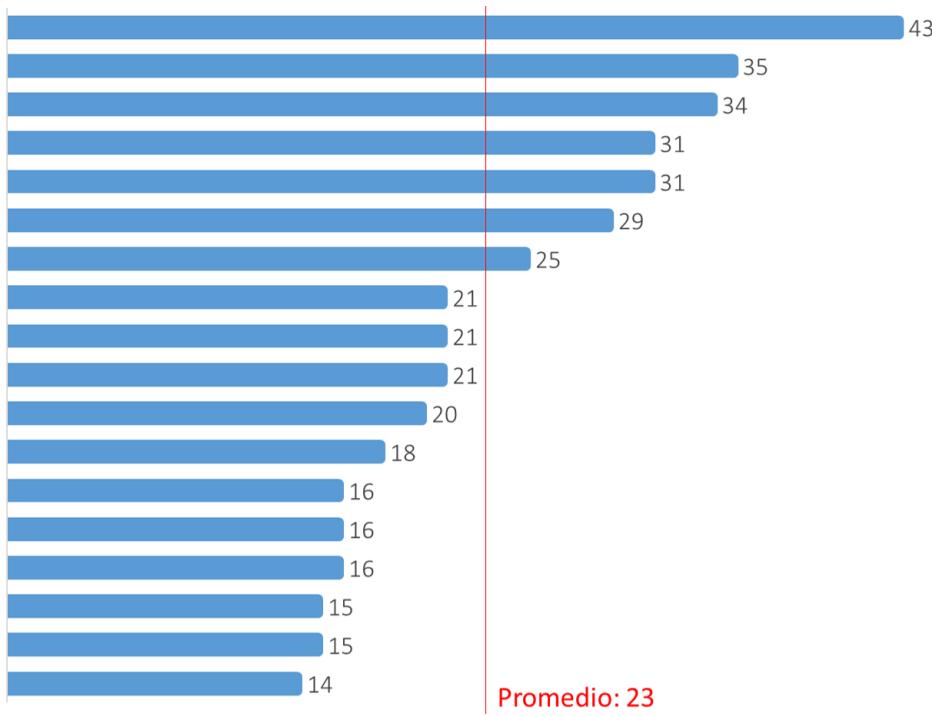


Figura 7.13: Tiempos promedios en segundos de ubicación por bulto en 18 tiendas

Fuente: Elaboración propia en base a mediciones por cámara

De las tiendas medidas, sólo una de ellas estaba realizando entregas utilizando a una persona en trastienda que buscara los productos y los acercara al módulo de venta y esta tienda fue la que obtuvo un mejor tiempo de entrega. En el resto de las tiendas, al tener que ir a buscar el producto el asistente del módulo, el tiempo en entregar el producto depende directamente del tamaño de la bodega, ya que implica un mayor tiempo ir a buscar un producto a una bodega con segundo piso, por ejemplo. El tiempo promedio en la entrega de productos fue de 3,9 minutos, la desviación estándar fue de 0,5 minutos.

### 7.2.3. Estimación de tiempos de confirmación de reservas

Para la estimación de los tiempos de confirmación, no se realizó mediante cámaras, puesto que es sumamente difícil seguir el trayecto de una persona por todo el piso de ventas. Es por esto que para estimar los tiempos de confirmación, se midió los tiempos en tienda desde que se imprime la guía de *picking* hasta que se ubica y confirma el producto (o bien se cancela). Se realizó la estimación un día completo en tres tiendas diferentes y se llegó a la conclusión de dividir el tiempo de confirmación en dos:

- Tiempo de confirmación mañana: tiempo de confirmación de las reservas a primera hora del día. En la mañana existe la ventaja de que al tener la mayor cantidad de reservas y estar la tienda cerrada, se puede realizar el *picking* de varias reservas a la vez. Generalmente, las personas que confirman productos a esta hora, se dividen las guías de *picking* por mundo (mujer, hombre, decohogar, etc.) ya que suelen estar ubicado en el mismo piso de la tienda. El tiempo promedio de confirmación en este horario fue de

| Cluster    | Trastienda | Tienda   | Promedio (min) |
|------------|------------|----------|----------------|
| Grande     | Sí         | Tienda01 | 3,06           |
| Mediana    | No         | Tienda02 | 3,33           |
| Mediana    | No         | Tienda03 | 3,35           |
| Grande     | No         | Tienda04 | 3,53           |
| Mediana    | No         | Tienda05 | 3,72           |
| Grande     | No         | Tienda06 | 3,86           |
| Mediana    | No         | Tienda07 | 3,87           |
| Muy Grande | No         | Tienda08 | 4,02           |
| Chica      | No         | Tienda09 | 4,05           |
| Muy Grande | No         | Tienda10 | 4,41           |
| Chica      | No         | Tienda11 | 4,48           |
| Chica      | No         | Tienda12 | 4,69           |
| Grande     | No         | Tienda13 | 4,74           |

Tabla 7.1: Tiempos de entrega promedio por tienda

Fuente: Elaboración propia en base a medición de tiempos en tienda y por cámara

4,9 minutos por orden, con una desviación estándar de 0,4 minutos.

- Tiempo de confirmación día: durante el resto del día se procede a *pickear* productos por cada orden de compra o, a lo más de a tres órdenes seguidas, debido a que la frecuencia de llegada de reservas no es muy alta. Por esto mismo el tiempo que se demora un asistente en este proceso es mayor que en la mañana. El tiempo promedio estimado fue de 9,2 minutos por orden, con una desviación estándar de 1,1 minutos.

### 7.3. Restricciones legales y definiciones de la empresa

La compañía cuenta con una variada gama de jornadas laborales con las que puede contratar personal. En la Figura 7.14 se muestra todas las opciones de jornadas.

A continuación se describen los tipos de jornada:

1. Full Time: este tipo de contrato puede ser de 45 o 40 horas semanales, trabajando 9 u 8 horas diarias, respectivamente. Dependiendo de la zona en donde se sitúa la tienda, las personas con este tipo de contrato tienen entre una y dos horas de almuerzo (ver Tabla 7.2). Los contratos full time pueden ser fijos de lunes a viernes o rotativos 5x2 (trabajan 5 días y descansan 2 por semana, estos días libres varían semana a semana).
2. Media Jornada: este tipo de contrato puede ser de 30 o 25 horas semanales, trabajando 6 o 5 horas diarias, respectivamente. Al igual que los full time, los contratos media jornada pueden ser fijos de lunes a viernes o rotativos 5x2. Para los contratos de 30 horas semanales, se asigna 30 minutos para colación, mientras que para los contratos de 25 horas diarias, no se asigna tiempo para colación.
3. Part Time: este tipo de contrato puede ser de 20 o 18 horas semanales. Este tipo de

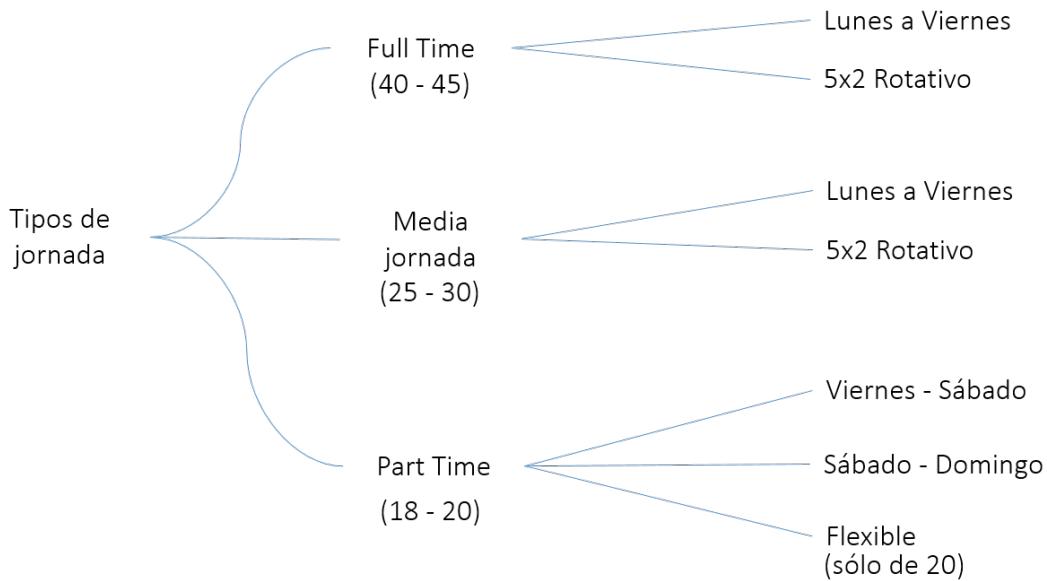


Figura 7.14: Tipos de jornada disponible para contratar en Falabella  
Fuente: Elaboración propia

jornadas pueden ser:

- Viernes y Sábado, de 10 o 9 horas diarias, con horario de almuerzo de acuerdo al tipo de tienda.
- Sábado y Domingo, de 10 o 9 horas diarias, con horario de almuerzo de acuerdo al tipo de tienda.
- Flexible, de 20 horas semanales repartidas de 2 a 4 días por semana. En caso de ser de 2 días por semana (10 horas diarias), se asigna hora de almuerzo según tipo de tienda. En caso de ser de 3 días (6,7 horas diarias aprox.) se asigna 30 minutos de colación y en caso de ser de 4 días (5 horas diarias) no corresponde hora de colación.

En los contratos firmados al contratar una persona, se estipula que el puesto en el que se desempeñará se rige bajo el reglamento interno. Con respecto al C&C, este reglamento estipula que los turnos son fijos (horario de ingreso y salida fijos). Además no se puede tener personas de jornada Part Time flexible.

Las personas que cumplen jornada de 5 horas diarias no tienen horario de almuerzo; las personas que cumplen jornada laboral entre 5 y 6:45 horas diarias tienen 30 minutos de horario de almuerzo; y las personas que cumplen jornada laboral por sobre 6:45 horas diarias, dependiendo de la región en la que se encuentren pertenecerán a uno de los 3 tipos que se muestran en la Tabla 7.2.

Los turnos rotativos deben cumplir con tener al menos un fin de semana libre al mes y además en un año móvil contar con 7 domingos libres, o bien 4 domingos y 3 sábados. Para solucionar estas restricciones legales, existen rotaciones de 13 semanas establecidas como se muestra en la Figura 7.15. Son 13 semanas cíclicas.

| Tipo de tienda | Tiempo de almuerzo (hr) |
|----------------|-------------------------|
| Tipo1          | 1                       |
| Tipo2          | 1.5                     |
| Tipo3          | 2                       |

Tabla 7.2: Horas de almuerzo según jornadas de 7 horas diarias o más según tipo de tienda

Fuente: Gerencia de gestión y procesos, Falabella

| Rotación 4 Dom 3 Sáb |    |    |    |    |    |    |    | Rotación 7 Dom |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----------------|----|----|----|----|----|----|----|
|                      | lu | ma | mi | ju | vi | sa | do |                | lu | ma | mi | ju | vi | sa | do |
| Semanas              | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  |                | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  |
|                      | 2  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  |                | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  |
|                      | 3  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |                | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
|                      | 4  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |                | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |
|                      | 5  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  |                | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  |
|                      | 6  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  |                | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
|                      | 7  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |                | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
|                      | 8  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |                | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |
|                      | 9  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  |                | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  |
|                      | 10 | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  |                | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  |
|                      | 11 | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |                | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |
|                      | 12 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |                | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |
|                      | 13 | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |                | 1  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  |

Figura 7.15: Rotaciones para jornadas rotativas 5x2

Fuente: Gerencia de gestión y procesos, Falabella

### 7.3.1. Apoyos para eventos

Como se apreció en el estudio de demanda realizado previamente, la demanda del *click and collect* aumenta abruptamente en los momentos en donde se realizan eventos, principalmente tres: CyberDay en el primer semestre del año, CyberMonday en el segundo semestre del año y en Navidad. Esto implica que se requiere de más personal para poder atender el mayor flujo de clientes.

Los eventos en el *click and collect* tienen las siguientes particularidades:

- Previo al evento se realiza una planificación en la cuál se proyecta en cuántos días se entregarán las unidades vendidas en el evento.
- Se establece las cotas máximas de *pick-up* y *site to store* por día.
- Al durar menos de un mes, se contratan apoyos Media Jornada de 30 horas de rotación 6X1, es decir, trabajan 5 horas diarias y descansan un día a la semana (siempre el mismo). Estos apoyos pueden ser contratados por cualquier cantidad de días (siempre y cuando no exceda el mes).
- Actualmente los apoyos que se contratan para los eventos son todos Media Jornada de 30 horas semanales 6X1. Se establecen dos días de ingreso y un cantidad limitada de horas de inicio de jornada. Los apoyos se contratan hasta el término del evento.

# Capítulo 8

## Estimación del nivel de servicio mínimo

En este capítulo se realizará una estimación del nivel de servicio mínimo como porcentaje del total de horas persona requeridas para satisfacer la restricción de que el tiempo de espera máximo de una persona no exceda cierta cantidad de minutos que será estimada.

Para realizar esto, en primer lugar se estimará el tiempo de espera máximo que puede aceptar un cliente un día normal y un CyberDay (bajo la hipótesis de que durante un CyberDay existe una mayor disposición a esperar dada la alta cantidad de ventas por los descuentos ofrecidos por la tienda). Luego, mediante una simulación de colas, se estimará la cantidad de personas necesarias para cumplir dicho tiempo de espera máximo. Y, finalmente se procederá a calcular el porcentaje del total de personas requeridas comparando el número de personas encontrado en la simulación con el número de personas necesarias en un caso ideal.

### 8.1. Encuesta

El objetivo de la encuesta es recolectar datos de los clientes o potenciales clientes respecto de su disposición a esperar por la entrega de un producto, así como también saber cuál sería su reacción frente a una espera que supere el tiempo máximo contemplado.

Para esto se realizó una breve encuesta de 8 preguntas que recolecta esta información además de la edad y género del encuestado. En anexos se encuentran las preguntas y alternativas de la encuesta.

La encuesta fue realizada con Google Forms, se difundió y fue respondida por 459 personas. De los encuestados un 62 % se identifica con el género masculino, un 37 % femenino y un 1 % con otro género. En la Figura 8.1 se muestra la distribución de la edad de la muestra, en donde se puede observar que la mayor cantidad de las respuestas son de personas entre 18 y 28 años que corresponden en su mayoría a personas de las Generación Z y Millenials.

Con respecto a la cantidad de productos comprados por internet en el último año, la Figura 8.2 muestra que la mayoría de los encuestados (56 %) han comprado entre 1 y 5 productos, un

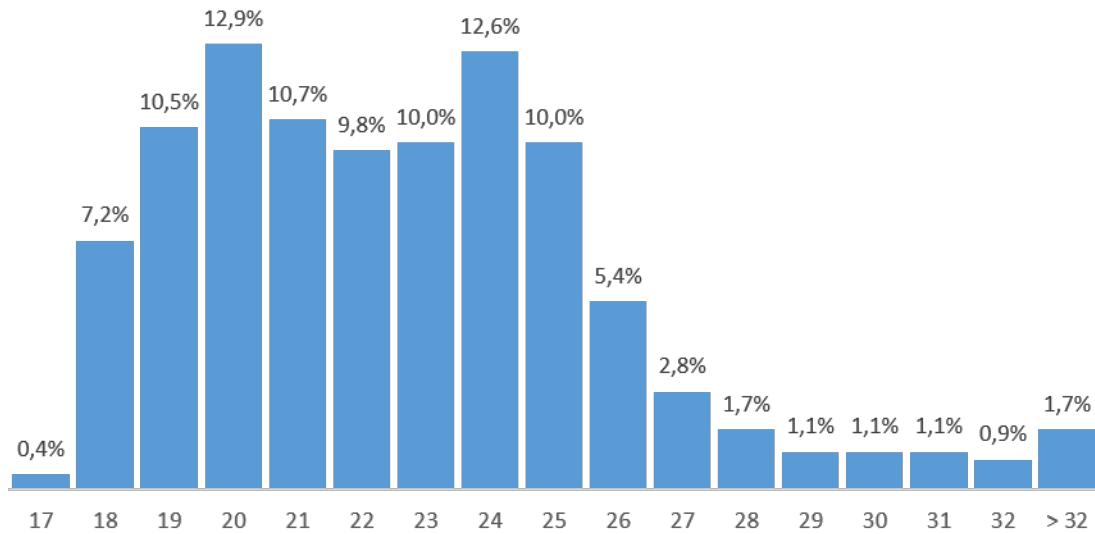


Figura 8.1: Distribución de edad de la muestra

Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

17% entre 6 y 10 productos y las personas que compraron más de 10 productos es bastante baja (5%).

Ahora, como se muestra en la Figura 8.3 en promedio, el rango etario que compra mayor cantidad de productos es el rango de 30 a 34 años con 6,4 productos promedio, lo sigue el grupo de 25 a 29 con 5,4 productos y el grupo de 20 a 24 con 3,8 productos en promedio. Esto puede estar influenciado principalmente por poder adquisitivo y acceso a la tecnología. Además, considerar que la muestra podría estar sesgada dada la distribución de las edades de las personas que respondieron la encuesta.

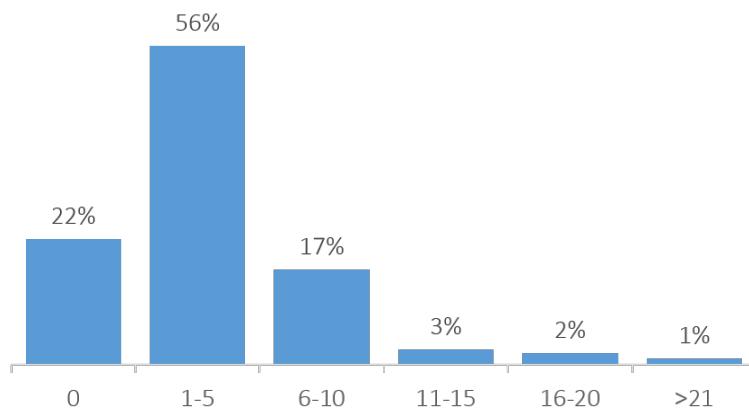


Figura 8.2: Distribución de productos comprados durante el último año

Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

Para conocer la disposición a esperar, se preguntó directamente cuál sería el tiempo máximo que podría esperar por la entrega de un producto sin sentirse molesto, en la Figura 8.4 se muestra el porcentaje de encuestados que están dispuestos a esperar los diferentes tiempos.

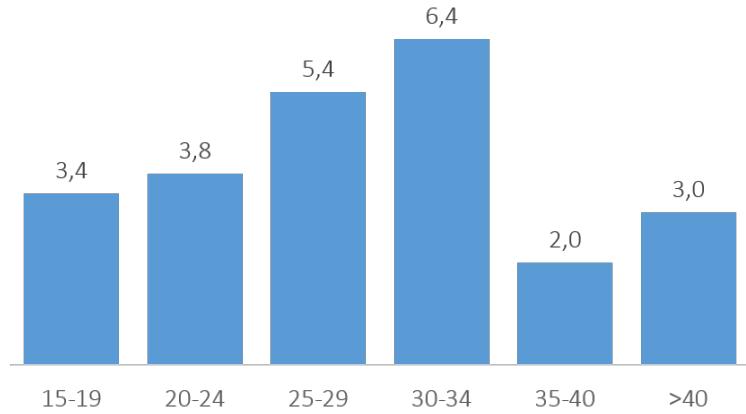


Figura 8.3: Promedio de productos comprados el último año por grupo etario

Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

Además, en la Figura 8.5 se muestra lo mismo, pero en este caso para el porcentaje no se consideró la cantidad de personas, sino que la suma de la cantidad de productos comprados en el último año. Se realizaron estos dos tipos de gráficos para ver si difería la distribución del tiempo de espera máximo, notando que ambas distribuciones son muy similares. En un día normal, la mayor cantidad de personas está dispuesta a esperar como máximo 15 minutos, mientras que para un CyberDay existe mayor disponibilidad a esperar (30 minutos), ya que al vender productos con mayor descuento, se espera que exista mayor cantidad de personas al momento de retirar el producto.

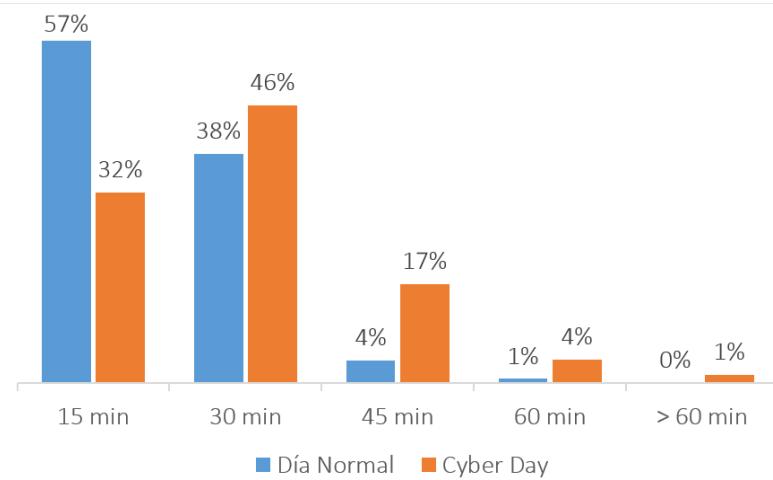


Figura 8.4: Tiempo de espera máximo por cantidad de encuestados

Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

Con la finalidad de obtener la esperanza de la disposición máxima a esperar, se procedió a utilizar la fórmula de la esperanza:

$$\mathbb{E}(t_{max}) = \sum_{t \in \{15, 30, 45, 60\}} \mathbb{P}(t_{max} = t) \cdot t$$

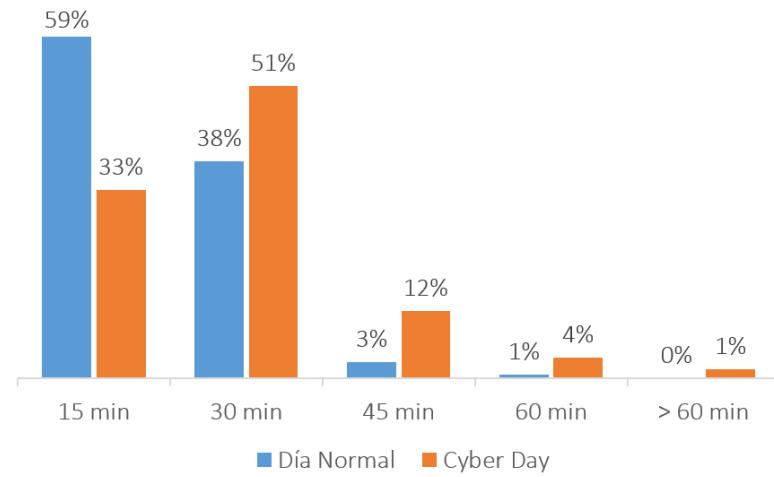


Figura 8.5: Tiempo de espera máximo por cantidad de productos comprados  
 Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

Esto dio como resultado que la esperanza de la disposición máxima a esperar es de 22 minutos un día normal y 28 minutos un CyberDay.

En la encuesta también se preguntaba cuál sería la reacción del encuestado en caso de que ha pasado el tiempo máximo que estaba dispuesto a esperar sin sentirse molesto. En la Tabla 8.1 se tabuló estos datos para cada tiempo de espera máximo para un día normal y en la Tabla 8.2 para un CyberDay, en donde los valores son porcentajes del total. Dada la disposición a esperar máxima, calculada anteriormente, se puede observar que en caso de que se cumpla dicho tiempo máximo para todas las personas, se debería tener un 1,7% de cancelaciones por tiempo de espera un día normal y un 1,1% en un CyberDay, lo cual dista del 3% de cancelaciones por este tipo de inconvenientes que existe en la actualidad.

|                                       | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Cancelo la compra                     | 1,7 %  | 2,2 %  | 0,0 %  | 0,0 %  |
| Espero a que me entreguen el producto | 47,7 % | 31,8 % | 3,3 %  | 0,7 %  |
| Me voy y vuelvo otro día a retirarlo  | 6,1 %  | 5,4 %  | 0,4 %  | 0,0 %  |

Tabla 8.1: Consecuencia de sobrepasar el tiempo de espera máximo, día normal  
 Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

|                                       | 15 min | 30 min | 45 min | 60 min |
|---------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Cancelo la compra                     | 1,1 %  | 1,5 %  | 0,2 %  | 0,0 %  |
| Espero a que me entreguen el producto | 25,5 % | 39,0 % | 12,4 % | 4,8 %  |
| Me voy y vuelvo otro día a retirarlo  | 4,1 %  | 6,5 %  | 3,9 %  | 0,4 %  |

Tabla 8.2: Consecuencia de sobrepasar el tiempo de espera máximo, CyberDay  
 Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

## 8.2. Simulación de colas

Se tiene como dato la disposición a esperar máxima de los clientes, sin embargo en el modelo el nivel mínimo de servicio se establecerá como un porcentaje de horas personas que debe haber presentes cada bloque para que no se exceda el tiempo de espera máximo estimado en la encuesta anterior. Para realizar esto, en primer lugar se realizará una simulación para calcular el número de personas que se necesita estén atendiendo público para no superar el tiempo de espera máximo.

En la Figura 8.6 se muestra un diagrama de la simulación que se realizará, en donde cabe destacar lo siguiente:

- Se realizará la simulación sobre la hora que se produce la mayor cantidad de entregas, es decir, el horario *peak*. Esta hora *peak* considera dos bloques de media hora.
- Para cada tienda se realizaran dos simulaciones, una para simular el horario *peak* de un día normal y otra para simular el horario *peak* de un CyberDay.
- El horizonte de tiempo  $T$  es de 60. Cada periodo representa un minuto de la hora *peak*.
- La tasa de llegada de clientes  $\lambda$  distribuye Poisson y se mide en clientes por minuto, por lo que el tiempo entre llegadas distribuye Exponencial de tasa  $1/\lambda$ . Esta tasa de llegada es diferente para cada tienda.
- Cuando llega un cliente se atiende en uno de los servidores disponibles. En caso de estar todos los servidores ocupados, espera a que se desocupe uno. Si hay más personas esperando se pone a la fila.
- Cada uno de los  $n$  servidores representa un módulo de atención y su tiempo de atención distribuye Normal con media  $\mu = 3,9$  y  $\sigma = 0,8$ , parámetros medidos durante el levantamiento de información en tienda.
- Luego de ser atendidos, los clientes salen del sistema.
- Dado que es un flujo simple y que todos los servidores se comportan de la misma manera, se asumirá que en vez de  $n$  servidores con tasa de atención promedio  $\mu$ , se tendrá uno sólo con tasa de atención  $\mu/n$ . Esto para poder ocupar la ecuación de Lindley para encontrar el tiempo de espera.

Para realizar la simulación se siguieron los pasos que se describen a continuación.

1. Se simulan los tiempos de llegada  $S_i$ .

$$x_i = \text{tiempo entre llegadas} \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}$$

$$x_i \sim Exp(\lambda)$$

$$S_i = x_i + S_{i-1}$$

$$S_0 = 0$$

$$S_I \leq T$$

2. Se simulan los tiempos de atención  $Z_i$ .

$$Z_i \sim N(\mu, \sigma) \quad \forall i \in \{1, \dots, I\}$$

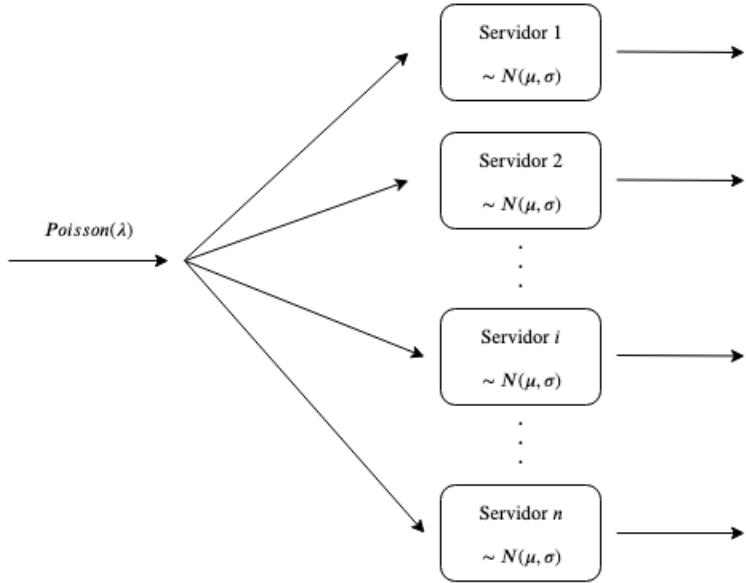


Figura 8.6: Diagrama de la simulación de colas

Fuente: Elaboración propia en base a las respuestas de la encuesta

3. Se calcula el tiempo de espera  $W_i$  de cada cliente utilizando la recursión de Lindley. La recursión de Lindley fue propuesta por Dennis Lindley en [15] y es utilizada para calcular los tiempos de espera de clientes que se encuentran en una cola de tipo FIFO (*First In First Out*).

$$W_i = \max\{0, W_{i-1} + Z_{i-1} - x_{i-1}\}$$

$$W_0 = 0$$

4. En base a todos los tiempos de espera  $W_i$  obtenidos, se obtiene el tiempo de espera máximo.

$$W_{max} = \max_i W_i$$

5. Los puntos mencionados anteriormente se ejecutan 1000 veces y se obtiene el tiempo de espera máximo ( $\overline{W_{max}}$ ) como el promedio de los tiempos de espera máximos de cada iteración.
6. Todo lo anterior se repite variando la cantidad  $n$  de servidores hasta obtener un tiempo de espera máximo  $\overline{W_{max}}$  menor o igual al tiempo establecido (22 minutos día normal, 28 minutos CyberDay)

Se realizó la simulación buscando la cantidad de módulos necesarios para obtener un tiempo de espera no superior a 22 minutos para un día normal y 28 minutos para un CyberDay. Se generaron valores de tasas de llegada de clientes entre 1 y 4 en intervalos de 0,1 y para cada uno se realizó el ejercicio de encontrar la cantidad de módulos de atención mínimos. Finalmente, esta cantidad de computadores se comparó con la cantidad ideal de computadores (calculada como una relación simple).

En la Figura 8.7 se muestra el resultado de la simulación para cada tasa de llegada de clientes, en donde se puede ver que el porcentaje de módulos mínimos necesarios para un CyberDay es siempre menor o igual que en un día normal, lo cual tiene sentido ya que

hay mayor disposición a esperar. Para un día normal, la simulación entregó que se debería contar en promedio con un 75 % de los módulos requeridos y para un CyberDay un 70 % de los módulos, en ambos casos con una desviación estándar de 4 %. Sin embargo, para poder asegurar de que no se exceda nunca el tiempo de espera, se tomará como dato para el modelo el máximo entregado para cada caso que corresponde a un 83 % para un día normal y un 80 % para un CyberDay. Se puede ver el detalle de las simulaciones en la Tabla 15.1 en Anexos.

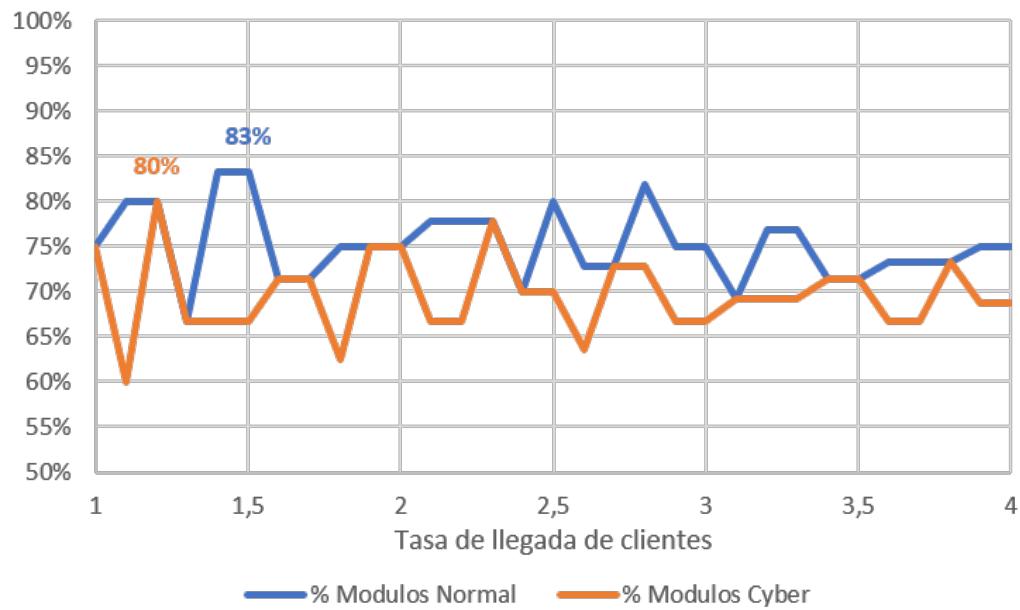


Figura 8.7: Porcentaje de módulos necesarios para cumplir con el tiempo de espera máximo  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de la simulación

# Capítulo 9

## Alcances y definiciones del modelo

Tal como se mencionó en los alcances del trabajo de memoria, si bien se recolectó información de todas las tiendas y el modelo quedará hábil para la ejecución de cualquier tienda, para modo de ejemplo se mostrarán los resultados de dos tiendas representativas, las cuales se mencionarán como Tienda Centro y Tienda Mall.

Luego de estudiar la demanda y realizar el levantamiento de las jornadas y rotaciones disponibles, se tomó la decisión de dividir el problema en dos subproblemas separados:

1. Modelo de dotación anual base: este modelo entregará la cantidad de personas de cada jornada y turno que se deben contratar en un horizonte de un año. Este modelo considerará sólo meses normales, es decir, se eliminará de la demanda el efecto de los eventos y se considerará una demanda normal para los meses en donde se encuentran los eventos.
2. Modelo de dotación para eventos: debido a que los eventos se planifican muy específicamente y la duración de estos depende de dicha planificación, se realizará un modelo que entregue como resultado la cantidad de personas de cada tipo de jornada, turno y rotación a contratar como apoyos para el evento que se está modelando. Esta cantidad de apoyos serán los necesarios para cubrir el evento dada la dotación actual con la que cuente la tienda.

### 9.1. Definiciones del modelo

Para la creación y posterior ejecución del modelo se realizaron las siguientes definiciones:

- Con el fin de discretizar la demanda durante el día, se dividirá el día en bloques de media hora. Esta decisión se tomó puesto que dependiendo de la tienda la apertura o cierre de la tienda puede ser cada media hora. Además al tener bloques de media hora por sobre bloques de una hora se modela de una forma más precisa, ya que los turnos pueden comenzar cada 30 minutos.
- La demanda base anual del C&C se supondrá determinística en base a la predicción

que realiza la división de venta a distancia de la empresa. Además para los eventos la demanda también se supondrá determinística ya que la empresa establece las cotas diarias de productos a recepcionar, reservar en tienda y entregar para cada día de entrega del evento, esto debido a la capacidad limitada de entrega y recepción.

- La predicción de demanda proporcionada por la empresa es de granularidad diaria, pero para el modelo es necesario tener las horas requeridas por cada bloque de media hora. Es por esto que en base a la distribución diaria de entregas y reservas del año 2018, se ajustarán distribuciones de tal manera que la demanda diaria pronosticada por la empresa se pro ratee por dicha distribución durante el día. Como se vio en el estudio de demanda, la distribución de entregas es muy similar de lunes a jueves y la distribución de reservas es muy similar todos los días de la semana. De esta forma se ajustarán 5 distribuciones: i) distribución de entregas día de lunes a jueves; ii) distribución de entregas día viernes; iii) distribución de entregas día sábado; iv) distribución de entregas día domingo; v) distribución de reservas.
- Según lo conversado en tienda y definición de la empresa, no está definido el horario de colación. Es por esto que se modelará una hora de almuerzo flexible, diluyendo el tiempo de almuerzo en más bloques de los que contempla la hora de almuerzo. Por ejemplo, si una persona tiene 30 minutos de almuerzo, en vez de asignarle un bloque de almuerzo, se descontarán 10 minutos a 3 bloques, por lo que la persona estaría presente 20 minutos cada bloque en teoría.
- Para el modelo anual, se considera que pueden ingresar personas los primeros 3 lunes de cada mes. Y pueden salir personas el último día del mes, ya que de esta forma están creados los contratos. Para el modelo de apoyo los días de ingreso y salida son variables y dependerán de la planificación del evento.

# Capítulo 10

## Ajuste de distribuciones

Debido a que la predicción de demanda de tipos de requerimientos (recepción y ubicación, reservas y entregas) con la que trabaja la empresa y que será utilizada en efecto como parámetro del modelo que se realizará mas adelante se encuentra a nivel de día, pero para el modelo se necesitará calcular las horas personas requeridas por cada media hora, es que se ajustarán distribuciones de probabilidad para, de alguna manera, mapear los porcentajes de cada uno de los requerimientos dentro del día, cada media hora. A continuación se muestran los procedimientos ejecutados para encontrar las distribuciones que se ajustan de mejor manera a cada uno de los requerimientos.

### 10.1. Distribución de productos recepcionados

Como se mencionó en la descripción del proceso de la recepción de productos (*site to store*), la recepción del camión se realiza durante la mañana mientras la tienda se encuentra cerrada. Es por esto que la distribución de la recepción de los bultos, pese a que llegan todos juntos en el camión, se suavizó de manera tal de considerar la recepción y ubicación durante las dos primeras horas luego de la llegada del camión. Por lo tanto, la distribución de la recepción y ubicación de productos es una distribución uniforme durante los primeros cuatro bloques de media hora.

Sea  $h$  un bloque de media hora y  $h_0$  el bloque en el cual llega el camión con los productos a recepcionar.

$$Recepcion(h) \sim \begin{cases} 1/4 & \text{si } h_0 \leq h \leq h_0 + 3 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

## 10.2. Distribución de entregas durante el día

Puesto que se entregan productos durante el día con cierta tasa, se piensa en una distribución de Poisson, sin embargo si se considera que la curva de entregas durante el día puede tener más de un *peak*, como por ejemplo en la Figura 7.10 vista anteriormente, es más razonable pensar en una combinación de dos distribuciones de Poisson. Finalmente, al ver que el *peak* de entregas de la tarde es superior al de la mañana, se llega a la conclusión de agregar una tercera distribución, pero en este caso sería una distribución normal de manera de marcar de mejor manera dicho peak. Además, dicha distribución sólo aplica en los horarios que la tienda permanece abierta.

Sea  $h$  un bloque de media hora,  $h_a$  el bloque en el cual al inicio del bloque se abre la tienda al público y  $h_c$  el bloque horario cuyo final coincide con el cierre de la tienda.

$$Entregas(w, \lambda, \mu, \sigma) \sim \begin{cases} w_1 \frac{e^{-\lambda_1} \lambda_1^h}{h!} + w_2 \frac{e^{-\lambda_2} \lambda_2^h}{h!} + (1 - w_1 - w_2) \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{h-\mu}{\sigma}\right)^2} & \text{si } h_a \leq h \leq h_c \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

En el estudio de la distribución de entregas realizado previamente, se pudo ver que la distribución de entregas de lunes a jueves es casi idéntica, es por esto que para cada tienda se ajustarán cuatro distribuciones de entregas: una única distribución de lunes a jueves, y una distribución para cada uno de los días viernes, sábado y domingo.

Para encontrar los parámetros que mejor se ajustan a la distribución *Entregas*, se ajustó la distribución mediante la maximización de la log-verosimilitud. A continuación se mostrará el ajuste de estas distribuciones utilizando como ejemplo la tienda Mall.

En la Figura 10.1 se encuentra el ajuste de la distribución de entregas diarias de lunes a jueves. Cabe mencionar que el eje de las abscisas representa cada uno de los bloques horario de media hora en que se discretizó el día. El número 1 representa el bloque de 08:30 a 09:00 y el número 27 corresponde al bloque de 21:30 a 22:00.

En el gráfico se puede ver que la tienda Mall abre al inicio del bloque 6, es decir a las 11:00. La cantidad de entregas permanece relativamente constante hasta el bloque 18 (17:00) donde comienza a aumentar hasta el *peak* que ocurre en torno al bloque 22 (19:00), donde comienza a descender hasta que no hay más entregas.

En la Figura 10.2 se muestra el ajuste de la distribución de entregas durante el día viernes, en donde se puede apreciar que es bastante similar a la distribución de lunes a jueves, pero con la diferencia que la cantidad de entregas comienza a aumentar antes, en el bloque 15 (15:30) aproximadamente. Además, el mayor *peak* ocurre levemente antes en el bloque 21.

En la figura 10.3 se muestra el ajuste de la distribución de entregas del día sábado y en la Figura 10.4 se muestra el ajuste de la distribución de entregas del día domingo. Ambas distribuciones son bastante parecidas, teniendo una curva mas bien plana con entregas relativamente constantes durante el día y con la carencia de *peaks* marcados como los vistos en las distribuciones de lunes a viernes.

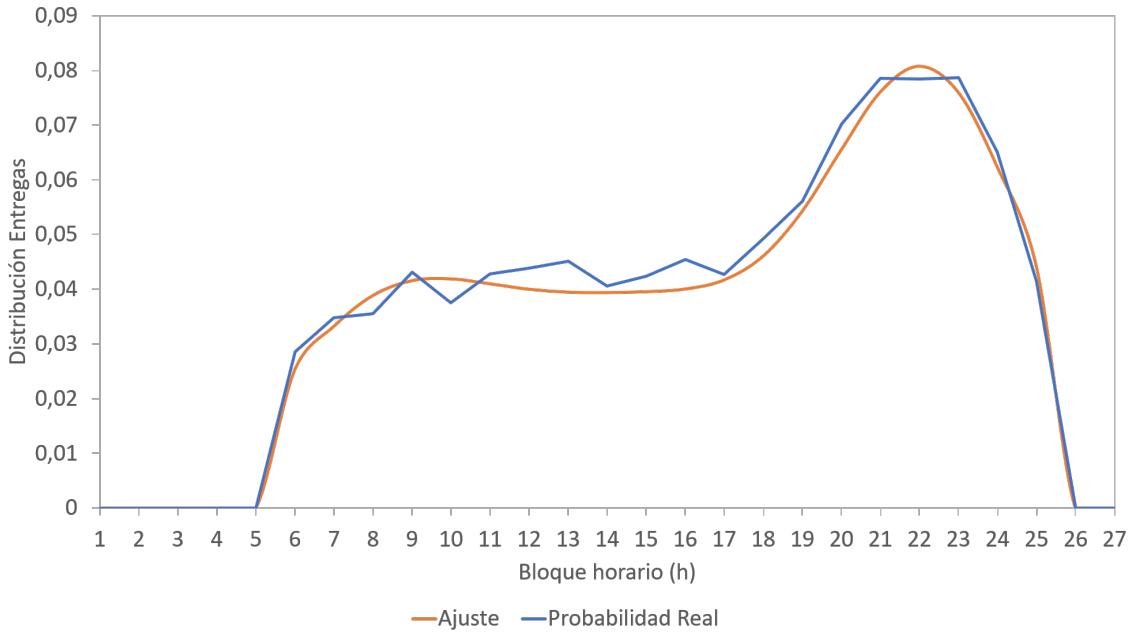


Figura 10.1: Ajuste de la distribución de entregas de lunes a jueves, tienda Mall  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos de 2018

La distribución del día sábado es más constante y tiene una leve caída entre los bloques 15 y 17 (de 15:30 a 17:00), horario en que las familias que visitan los Malls suelen almorzar. Y la distribución del domingo tiene la particularidad de tener esta disminución alrededor del bloque 12 (14:00), además de tener una mayor cantidad de entregas en la tarde que en la mañana.

### 10.3. Distribución de reservas durante el día

Tal y como se observó en el estudio de requerimientos del C&C, la distribución de reservas durante el día varía muy poco entre un día de la semana y otro, también es muy similar entre tiendas, ya que el comportamiento de las compras por internet es independiente de la tienda en la cual se retirará el producto. Por esta razón, se ajustará solamente una distribución de reservas durante el día, la cuál será modelada como la combinación lineal de tres distribuciones de Poisson:

$$Reservas(w, \lambda) \sim \begin{cases} w_1 \frac{e^{-\lambda_1} \lambda_1^h}{h!} + w_2 \frac{e^{-\lambda_2} \lambda_2^h}{h!} + (1 - w_1 - w_2) \frac{e^{-\lambda_3} \lambda_3^h}{h!} & \text{si } 2 \leq h \leq 23 \\ 0 & \text{en otro caso} \end{cases}$$

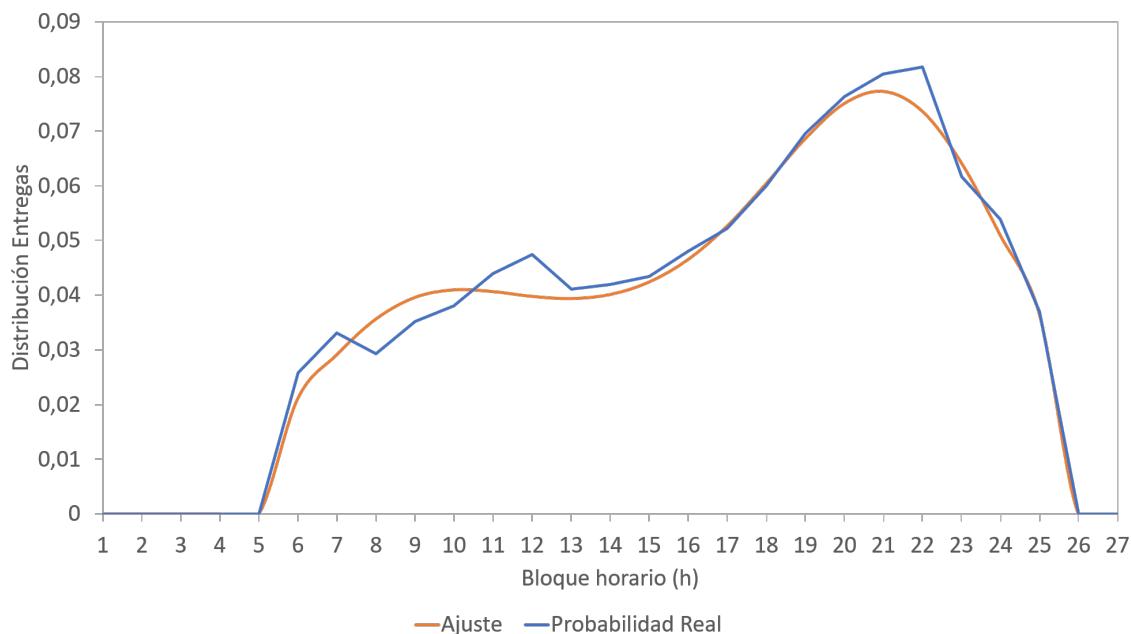


Figura 10.2: Ajuste de la distribución de entregas día viernes, tienda Mall  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos de 2018.

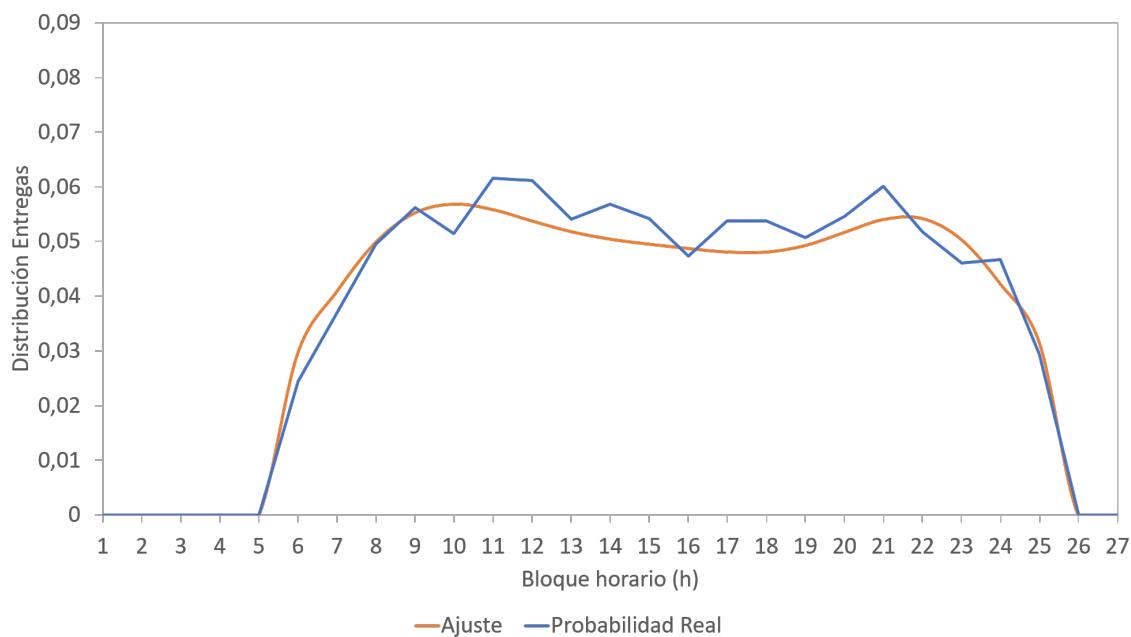


Figura 10.3: Ajuste de la distribución de entregas día sábado, tienda Mall  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos de 2018

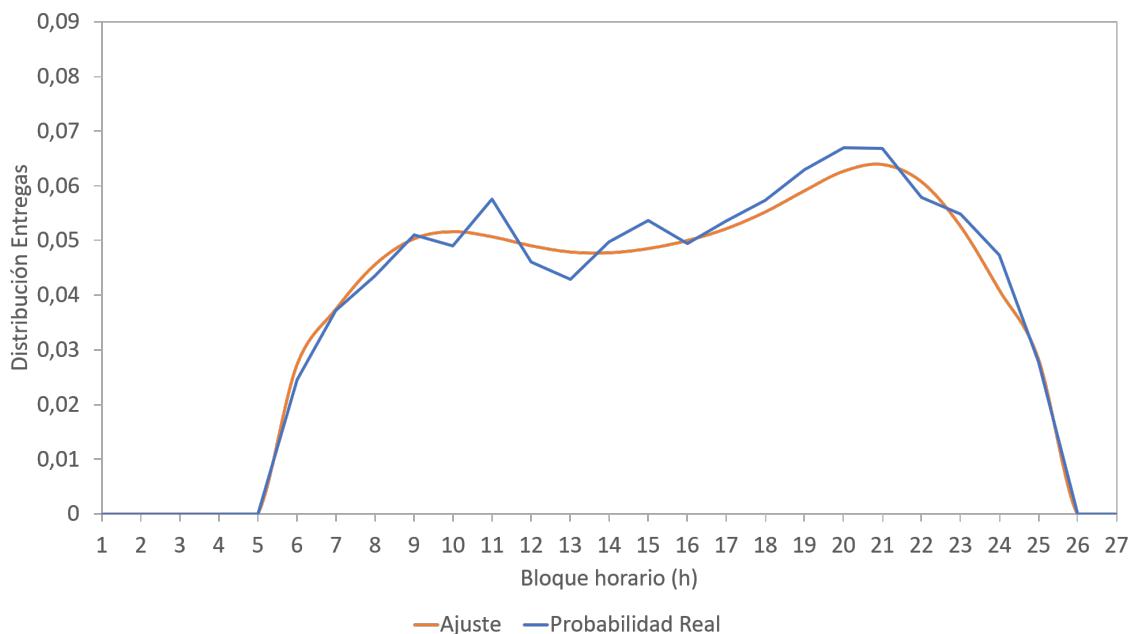


Figura 10.4: Ajuste de la distribución de entregas día domingo, tienda Mall  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos de 2018

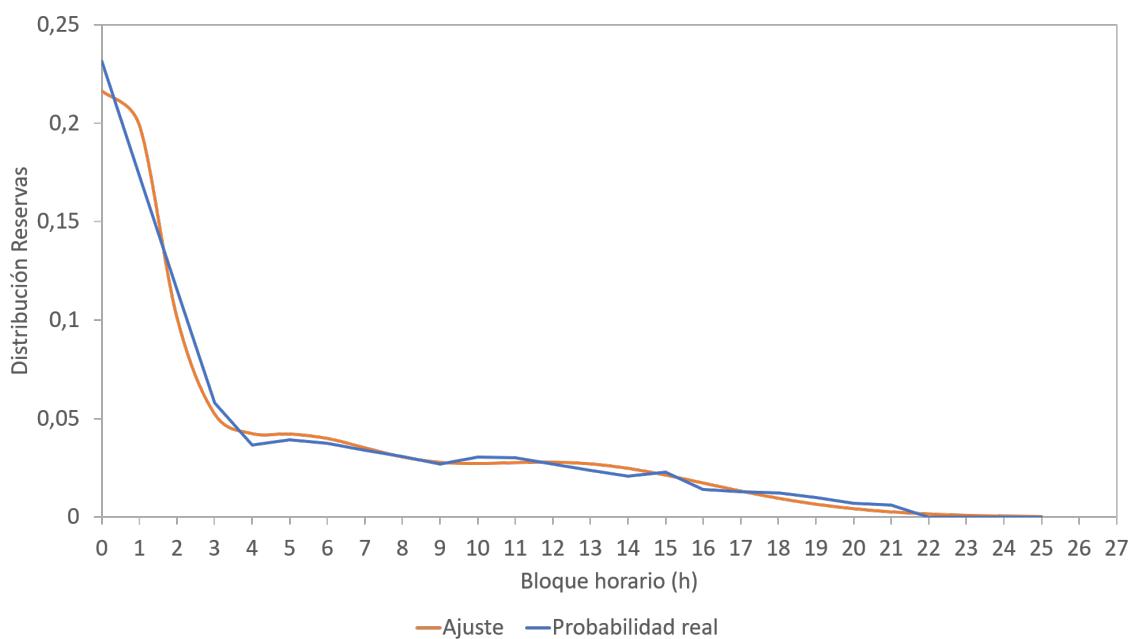


Figura 10.5: Ajuste de la distribución de reservas durante un día  
 Fuente: Elaboración propia en base a datos de 2018

# Capítulo 11

## Creación de modelos

### 11.1. Modelo de dotación base anual

#### 11.1.1. Conjuntos

- (C1)  $Dias = \{1, \dots, 365\}$ . Este conjunto es la cantidad de días que contempla el año. En caso de ser un año bisiesto, la cota superior sería 365.
- (C2)  $DiasIngreso \subseteq Dias$ . Este conjunto es un subconjunto de  $Dias$  y representa los días en que está permitido el ingreso de nuevas contrataciones de personal. Estos días a parte del primer día del año, serán los primeros 3 lunes de cada mes.
- (C3)  $DiasEgreso \subseteq Dias$ . Este conjunto es un subconjunto de  $Dias$  y representa los días en que se puede terminar un contrato, es decir, los días hábiles para que personal deje de trabajar en la empresa.
- (C4)  $Bloques = \{1, \dots, 27\}$  El conjunto  $Bloques$  representa la subdivisión de un día en bloques horarios de media hora. El bloque 1 hace alusión al bloque de 08:30 a 09:00 y el bloque 27 representa al bloque de 21:30 a 22:00.
- (C5)  $Jornadas = \{FT45, FT40, MJ30, MJ25, PT20, PT18, PT10\}$  Este conjunto representa los tipos de jornada con los cuales se puede contratar a un trabajador. En la Tabla 11.1 se encuentra la descripción de cada jornada.
- (C6)  $JornadasPT \subseteq Jornadas$ . Este conjunto es un subconjunto de  $Jornadas$  y representa únicamente a los tipo de jornada Part Time, es decir,  $JornadasPT = \{PT20, PT18, PT10\}$ .
- (C7)  $Rotaciones = \{LV, VS, SD, D, 7D, 4D3S\}$ . Este conjunto representa los tipos de rotación que puede tener una persona dependiendo de su contrato. En la Tabla 11.2 se describe cada una de las rotaciones.

| Jornada | Descripción                         |
|---------|-------------------------------------|
| FT45    | Full Time de 45 horas semanales     |
| FT40    | Full Time de 40 horas semanales     |
| MJ30    | Media Jornada de 30 horas semanales |
| MJ25    | Media Jornada de 25 horas semanales |
| PT20    | Part Time de 20 horas semanales     |
| PT18    | Part Time de 18 horas semanales     |
| PT10    | Part Time de 10 horas semanales     |

Tabla 11.1: Tipos de jornada disponible para contratar  
Fuente: Elaboración propia

| Rotación | Descripción   |
|----------|---|
| LV       | Rotación fija de Lunes a Viernes                        |
| VS       | Rotación fija de Viernes a Sábado                       |
| SD       | Rotación fija de Sábado a Domingo                       |
| D        | Rotación fija de sólo Domingo                           |
| 7D       | Rotación de 13 semanas de 7 domingos libres             |
| 4D3S     | Rotación de 13 semanas de 4 Domingos y 3 Sábados libres |

Tabla 11.2: Tipos de rotaciones disponibles  
Fuente: Elaboración propia

- (C8)  $\text{RotacionesFix} \subseteq \text{Rotaciones}$ . Este conjunto contiene a los tipos de rotación que son fijos, es decir,  $\text{RotacionesFix} = \{LV, VS, SD, D\}$ .
- (C9)  $\text{RotacionesVar} \subseteq \text{Rotaciones}$ . Este conjunto contiene a los tipos de rotación que son variables, es decir,  $\text{RotacionesVar} = \{7D, 4D3S\}$ .
- (C10)  $\text{Rotaciones}^j \subseteq \text{Rotaciones}$ . Este subconjunto representa los tipos de rotación disponibles dependiendo del tipo de jornada  $j \in \text{Jornadas}$ . En la Tabla 11.3 se especifica cada subconjunto, según el valor de  $j$ .

| $j$  | $\text{Rotaciones}^j$ |
|------|-----------------------|
| FT45 | $\{LV, 7D, 4D3S\}$    |
| FT40 | $\{LV, 7D, 4D3S\}$    |
| MJ30 | $\{LV, 7D, 4D3S\}$    |
| MJ25 | $\{LV, 7D, 4D3S\}$    |
| PT20 | $\{VS, SD\}$          |
| PT18 | $\{VS, SD\}$          |
| PT10 | $\{D\}$               |

Tabla 11.3: Tipos de rotaciones disponible dependiendo de la jornada  
Fuente: Elaboración propia

- (C11)  $\text{RotacionesFix}^j \subseteq \text{Rotaciones}^j$ . Este subconjunto representa los tipos de rotación fija

disponible dependiendo del tipo de jornada  $j \in Jornadas$ , es decir,  $RotacionesFix^j = Rotaciones^j \cap RotacionesFix$ .

- (C12)  $RotacionesVar^j \subseteq Rotaciones^j$ . Este subconjunto representa los tipos de rotación fija disponible dependiendo del tipo de jornada  $j \in Jornadas$ , es decir,  $RotacionesVar^j = Rotaciones^j \cap RotacionesVar$ .
- (C13)  $Turnos^j = \{1, \dots, NTUR_j\}$ . Para cada  $j \in Jornadas$ ,  $Turnos^j$  representa los turnos disponibles para dicha jornada, que son las combinaciones posibles de horario de entrada y salida para cumplir las horas laborales diarias requeridas estando dentro del rango de bloques de media hora definidos en el conjunto *Bloques*. En la Tabla  $mTurnos_j$  se muestra la cantidad de turnos disponibles según el tipo de jornada  $j$ .

| $j$  | $NTUR_j$ |
|------|----------|
| FT45 | 8        |
| FT40 | 10       |
| MJ30 | 15       |
| MJ25 | 18       |
| PT20 | 6        |
| PT18 | 8        |
| PT10 | 6        |

Tabla 11.4: Cantidad de turnos disponibles dependiendo del tipo de jornada

Fuente: Elaboración propia

- (C14)  $SemRot = \{1, \dots, 13\}$ . Para las rotaciones que son de 13 semanas (*7D* y *4D3S*), cada una de las semanas es diferente en cuanto a los días de la semana que se debe trabajar y un trabajador podría comenzar con la configuración en cualquiera de las 13 semanas, es por eso que este conjunto representa cada una de las configuraciones con las que un trabajador puede iniciar con una rotación de 13 semanas (tomando como referencia inicial la semana en la cual se encuentra el día  $d = 1$ ).

### 11.1.2. Parámetros

- (P1)  $Demand_{d,h \in Dias, Bloques} \geq 0$ . Parámetro que representa las horas persona requeridas el día  $d$  bloque horario  $h$ . Se le asignó el nombre de demanda, ya que se puede percibir como la cantidad de horas persona demandada para poder cumplir las labores del C&C.

$$(P2) TUR_{t,h \in Turnos^j, Bloques}^{j \in Jornadas} = \begin{cases} 1 & \text{si el turno } t \text{ de la jornada } j \text{ cubre el bloque horario } h \\ 0 & \end{cases} \sim$$

Considerando que no existe un horario fijo para el almuerzo y que, se consideró hacer una relajación en este horario, de tal forma de diluir el horario de almuerzo en más bloques de los que corresponde. Por ejemplo, si una jornada tiene una hora de almuerzo debería tener dos bloques con 0 que representaría el descanso para al almuerzo, sin embargo se asignarán 4 bloques de 0.5 cada uno para dar mayor flexibilidad al horario

de almuerzo. En la Figura 11.1 se muestra un ejemplo con los 8 tipos de turnos diferentes de la jornada Full Time de 45 horas.

|   | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |    |
| 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |    |
| 3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1   | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  |    |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1   | 1   | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1   | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  |    |
| 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  |    |
| 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |    |
| 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  |    |
| 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 0,5 | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  |    |

Figura 11.1: Turnos posibles para la jornada Full Time de 45 horas

Fuente: Elaboración propia

$$(P3) \ TRAB_{d \in Dias}^{r \in RotacionesFix} = \begin{cases} 1 & \text{si el día } d \text{ deben trabajar las personas con rotación } r \\ 0 & \sim \end{cases}$$

$$(P4) \ TRAB_{s,d \in SemRot,Dias}^{r \in RotacionesVar} = \begin{cases} 1 & \text{si el día } d \text{ deben trabajar las personas con rotación } r \\ 0 & \text{y semana de rotación } s \\ & \sim \end{cases}$$

(P5)  $CtoOver \geq 0$ . Este parámetro representa el costo de estar una hora persona por sobre las horas requeridas. Es el costo de sobre dotación o tiempo ocioso de los trabajadores.

(P6)  $CtoUnder \geq 0$ . Este parámetro representa el costo de estar una hora persona por debajo de las horas requeridas. Es el costo de sub dotación o de no entregar un buen servicio.

(P7)  $CtoIngreso^j$ . Estos parámetros representan el costo asociado a contratar e ingresar una persona con tipo de jornada  $j \in Jornadas$ . Se asigna un costo diferente a cada tipo de jornada debido a que dependiendo del tipo de jornada hay más o menos cantidad de personas dispuestas a trabajar bajo dicha jornada.

(P8)  $CtoEgreso^j$ . Estos parámetros representan el costo asociado a prescindir de una persona con tipo de jornada  $j \in Jornadas$ . Se asigna un costo diferente a cada tipo de jornada debido a que para la empresa es más valioso tener contratados unos tipos de jornadas que otros, por lo que a mayor costo de egreso, más valioso es para la empresa contar con una persona con ese tipo de jornada.

(P9)  $NivServicio$ . Este parámetro es un número entre 0 y 1 que representa el nivel de servicio como un porcentaje mínimo de horas persona requeridas que deben ser cubiertas por las horas contratadas para cada día y bloque de media hora.

(P10)  $MinRotativos > 0$ . Este parámetro es un número entero positivo que representa el mínimo de personal que debe tener rotación de 13 semanas. Esto es debido a que a la empresa le interesa tener un mínimo de personal que rote puesto que de esa forma el personal se topa con el personal de la semana y del fin de semana, de tal forma que la forma de operar del personal de la semana no se diferencia de la forma de operar del personal del fin de semana.

### 11.1.3. Variables de Decisión

A continuación se enunciarán las variables de decisión del modelo, es decir, las variables que ajustarán su valor con la finalidad de minimizar la función objetivo.

- (VD1)  $Ymas_{d,t \in \text{Días}, r \in \text{Jornadas}, \text{Rotaciones}^{Fix^j}} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas a contratar de jornada  $j$ , rotación fija  $r$ , turno  $t$  con ingreso el día  $d$ .
- (VD2)  $Ymenos_{d,t \in \text{Días}, r \in \text{Jornadas}, \text{Rotaciones}^{Fix^j}} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación fija  $r$ , turno  $t$  que terminan su contrato de trabajo el día  $d$  (el día  $d$  ya no trabajaría).
- (VD3)  $Ymas_{d,t,s \in \text{Días}, r \in \text{Jornadas}, \text{Rotaciones}^{Var^j}, \text{SemRot}^s} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas a contratar de jornada  $j$ , rotación de 13 semanas  $r$ , semana de rotación  $s$ , turno  $t$  con ingreso el día  $d$ .
- (VD4)  $Ymenos_{d,t,s \in \text{Días}, r \in \text{Jornadas}, \text{Rotaciones}^{Var^j}, \text{SemRot}^s} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación de 13 semanas  $r$ , semana de rotación  $s$ , turno  $t$  que terminan su contrato de trabajo el día  $d$  (el día  $d$  ya no trabajaría).

### 11.1.4. Variables de Estado

Las variables de estado, son variables que dependen de las variables de decisión pero que se necesitan para construir de manera más sencilla e intuitiva el modelo. A continuación se enuncian las variables de estado del modelo.

- (VE1)  $Y_{d,t \in \text{Días}, r \in \text{Jornadas}, \text{Turnos}^j} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación fija  $r$  y turno  $t$  que se encuentran trabajando el día  $d$ .
- (VE2)  $Y_{d,t,s \in \text{Días}, r \in \text{Jornadas}, \text{Turnos}^j, \text{SemRot}^s} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación de 13 semanas  $r$ , semana de rotación  $s$  y turno  $t$  que se encuentran trabajando el día  $d$ .
- (VE3)  $Oferta_{d,h \in \text{Días}, \text{Bloques}} \geq 0$ . Variable que representa la cantidad de horas persona con las que se cuenta en el día  $d$ , bloque de media hora  $h$ .
- (VE4)  $HrsOver_{d,h \in \text{Días}, \text{Bloques}}$ . Variable que representa la cantidad de horas persona con las que se dispone que están por sobre la cantidad de horas requeridas el día  $d$ , bloque horario  $h$ .
- (VE5)  $HrsUnder_{d,h \in \text{Días}, \text{Bloques}}$ . Variable que representa la cantidad de horas persona con las que se dispone que están por debajo de la cantidad de horas requeridas el día  $d$ , bloque

horario  $h$ .

### 11.1.5. Restricciones

En primer lugar desde la restricción (R1) a la restricción (R9) se establecerá la naturaleza de las variables.

$$(R1) \quad Ymas_{d,t}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, d \in DiasIngreso, t \in Turnos^j$$

$$(R2) \quad Ymenos_{d,t}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, d \in DiasEgreso, t \in Turnos^j$$

$$(R3) \quad Ymas_{d,t,s}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, d \in DiasIngreso, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

$$(R4) \quad Ymenos_{d,t,s}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, d \in DiasEgreso, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

$$(R5) \quad Y_{d,t}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, d \in Dias, t \in Turnos^j$$

$$(R6) \quad Y_{d,t,s}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, d \in Dias, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

$$(R7) \quad Oferta_{d,h} \in \mathbb{R} \quad \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

$$(R8) \quad HrsOver_{d,h} \in \mathbb{R}_0^+ \quad \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

$$(R9) \quad HrsUnder_{d,h} \in \mathbb{R}_0^+ \quad \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

(R10) Definición de Oferta. Esta restricción define la variable  $Oferta$  con la cantidad de horas persona con que se cuenta en cada día  $d$  y bloque horario  $h$ .

$$Oferta_{d,h} = \sum_{j \in Jornadas} \sum_{r \in RotacionesFix^j} \sum_{t \in Turnos^j} \left( \frac{Y_{d,t}^{j,r} \cdot TUR_{t,h}^j \cdot TRAB_d^j}{2} + \right. \\ \left. \sum_{s \in SemRot} \frac{Y_{d,t,s}^{j,r} \cdot TUR_{t,h}^j \cdot TRAB_{s,d}^j}{2} \right)$$

$$\forall d \in Dias, h \in Bloques$$

Para cada día ( $d$ ) y bloque horario ( $h$ ), se multiplica la cantidad de personas presentes ( $Y$ ) por los parámetros binarios  $TUR$  y  $TRAB$  de tal manera que sobrevivan sólo las cantidades cuyo turno cubra el bloque horario  $h$  y cuya rotación cubra el día laboral  $d$ . Cabe mencionar que esta multiplicación está dividida por dos debido a que el día está modelado en bloques de media hora por lo que en un bloque una hora persona significa que hay dos personas presentes en dicho bloque.

(R11) Relación entre oferta y demanda.

$$Oferta_{d,h} + HrsUnder_{d,h} - HrsOver_{d,h} = Demanda_{d,h}$$

$$\forall d \in Dias, h \in Bloques$$

Tal y como se definió anteriormente en las restricciones (R8) y (R9),  $HrsOver$  y  $HrsUnder$  son variables mayores o iguales a cero por lo cuál existen 3 escenarios posibles:

1. Si  $Oferta = Demanda$ , tanto  $HrsUnder$  como  $HrsOver$  tendrán valor cero. Cabe notar que existe la posibilidad de que  $HrsUnder = HrsOver \neq 0$ , sin embargo, como se busca minimizar los costos asociados a estas variables, valdrán cero.
2. Si  $Oferta > Demanda$  quiere decir que hay horas personas por sobre lo requerido, por lo cual  $HrsUnder = 0$  y  $HrsOver = Oferta - Demanda$ .
3. Si  $Oferta < Demanda$  quiere decir que hay horas personas por debajo de lo requerido, por lo cual  $HrsOver = 0$  y  $HrsUnder = Demanda - Oferta$ .

(R12) Flujo de personal de rotación fija en días de ingreso y egreso de personal.

$$Y_{d,t}^{j,r} = Y_{d-1,t}^{j,r} + Ymas_{d,t}^{j,r} - Ymenos_{d,t}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasIngreso \cap DiasEgreso), j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, t \in Turnos^j$$

Esta restricción actúa en la intersección de  $DiasIngreso$  y  $DiasEgreso$ , por lo tanto pertenece a los días  $d$  en que puede ingresar personal y que también se termina contrato de personal. La restricción representa lo siguiente:

“El personal en el día de ingreso y egreso  $d$  será el personal que había en el día  $d-1$  más el personal contratado y que debe ingresar el día  $d$  menos el personal que termina su contrato el día  $d$ ”

(R13) Flujo de personal de rotación fija en días de ingreso de personal.

$$Y_{d,t}^{j,r} = Y_{d-1,t}^{j,r} + Ymas_{d,t}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasIngreso \setminus DiasEgreso), j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, t \in Turnos^j$$

Esta restricción actúa en la resta de  $DiasIngreso$  y  $DiasEgreso$ , por lo tanto pertenece a los días  $d$  en que exclusivamente hay ingreso de personal. La restricción representa lo siguiente:

“El personal en el día de ingreso  $d$  será el personal que había en el día  $d-1$  menos el personal que termina su contrato el día  $d$ ”

(R14) Flujo de personal de rotación fija en días de egreso de personal.

$$Y_{d,t}^{j,r} = Y_{d-1,t}^{j,r} - Ymenos_{d,t}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasEgreso \setminus DiasIngresa), j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, t \in Turnos^j$$

Esta restricción actúa en la resta de *DiasEgreso* y *DiasIngresa*, por lo tanto pertenece a los días  $d$  en que exclusivamente hay egreso de personal. La restricción representa lo siguiente:

“El personal en el día de egreso  $d$  será el personal que había en el día  $d-1$  más el personal contratado y que debe ingresar el día  $d$ ”

(R15) Flujo de personal de rotación fija en días en que no hay ingreso ni egreso de personal.

$$Y_{d,t}^{j,r} = Y_{d-1,t}^{j,r}$$

$$\forall d \in (Dias \setminus DiasIngresa \setminus DiasEgreso), j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, t \in Turnos^j$$

Esta restricción actúa en el conjunto de *Dias*, pero sin los elementos en los conjuntos *DiasIngresa* y *DiasEgreso*, por lo tanto pertenece a los días  $d$  en que no hay ni ingreso ni egreso de personal. La restricción representa lo siguiente:

“El personal en el día normal  $d$  será el personal que había en el día  $d-1$ , ya que no existe ingreso ni egreso de personal”

Las siguientes cuatro restricciones representan lo mismo que las restricciones anteriores, pero para las jornadas con rotaciones de 13 semanas.

(R16) Flujo de personal de rotación de 13 semanas en días de ingreso y egreso de personal.

$$Y_{d,t,s}^{j,r} = Y_{d-1,t,s}^{j,r} + Ymas_{d,t,s}^{j,r} - Ymenos_{d,t,s}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasIngresa \cap DiasEgreso), j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

(R17) Flujo de personal de rotación de 13 semanas en días de ingreso de personal.

$$Y_{d,t,s}^{j,r} = Y_{d-1,t,s}^{j,r} + Ymas_{d,t,s}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasIngresa \setminus DiasEgreso), j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

(R18) Flujo de personal de rotación de 13 semanas en días de egreso de personal.

$$Y_{d,t,s}^{j,r} = Y_{d-1,t,s}^{j,r} - Ymenos_{d,t,s}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasEgreso \setminus DiasIngresa), j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

- (R19) Flujo de personal de rotación de 13 semanas en días en que no hay ingreso ni egreso de personal.

$$Y_{d,t,s}^{j,r} = Y_{d-1,t,s}^{j,r}$$

$$\forall d \in (Dias \setminus DiasIngreso \setminus DiasEgreso), j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

- (R20) Condición inicial de personal de rotación fija. Esta restricción suma sobre las jornadas, rotaciones fijas y turnos y establece que en el día  $d = 0$  no existe dotación.

$$\sum_{j \in Jornadas} \sum_{r \in RotacionesFix^j} \sum_{t \in Turnos^j} Y_{d,t,s}^{j,r} = 0 \\ \forall d \in \{0\}$$

- (R21) Condición inicial de personal de rotación de 13 semanas. Esta restricción suma sobre las jornadas, rotaciones de 13 semanas, turnos y semanas de rotación y establece que en el día  $d = 0$  no existe dotación.

$$\sum_{j \in Jornadas} \sum_{r \in RotacionesVar^j} \sum_{t \in Turnos^j} \sum_{s \in SemRot} Y_{d,t,s}^{j,r} = 0 \\ \forall d \in \{0\}$$

- (R22) Mínimo nivel de servicio.

$$Oferta_{d,h} = NivServicio \cdot Demanda_{d,h} \\ \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

- (R23) Mínimo de personal rotativo de 13 semanas.

$$\sum_{j \in Jornadas} \sum_{r \in RotacionesVar^j} \sum_{t \in Turnos^j} \sum_{s \in Semanas} Y_{d,t,s}^{j,r} = MinRotativos \\ \forall d \in Dias$$

- (R24) Mínimo de personas mientras la tienda está abierta. Pese a que no exista demanda, es necesario tener un mínimo de personal para que el C&C funcione. Se establece dos personas como mínimo, que es lo mismo que en cada bloque de media hora haya 1 hora persona.

$$Oferta_{d,h} >= 1 \quad \forall d \in Dias, h \in \{APE, ..., CIE\}$$

Donde  $APE$  y  $CIE$  representan los bloques horarios de apertura y cierre de la tienda.

### 11.1.6. Función Objetivo

La función objetivo tiene como finalidad minimizar los costos asociados al modelo. Para una mejor comprensión, se separarán en tres costos diferentes:

1. Costo de sub/sobre dotación ( $CTO\_SS\_DOT$ ): Este costo considera para cada día y bloque horario el costo de tener más dotación de la requerida (tiempo ocioso) y el costo de tener menos dotación de la requerida (menor nivel de servicio).

$$CTO\_SS\_DOT = \sum_{d \in \text{Días}} \sum_{h \in \text{Bloques}} (HrsOver_{d,t} \cdot CtoOver + HrsUnder_{d,t} \cdot CtoUnder)$$

2. Costo de Ingreso ( $CTO\_INGRESO$ ): Este costo representa el costo de contratar e ingresar personal de cada tipo de jornada.

$$CTO\_INGRESO = \sum_{j \in \text{Jornadas}} \sum_{r \in \text{Rotaciones}^j} \sum_{t \in \text{Turnos}^j} \sum_{d \in \text{DíasIngreso}} \left( Ymas_{d,t}^{j,r} \cdot CtoIngreso^j + \sum_{s \in \text{SemRot}} (Ymas_{d,t,s}^{j,r} \cdot CtoIngreso^j) \right)$$

3. Costo de Egreso ( $CTO\_EGRESO$ ): Este costo representa el costo de prescindir de personal de cada tipo de jornada.

$$CTO\_EGRESO = \sum_{j \in \text{Jornadas}} \sum_{r \in \text{Rotaciones}^j} \sum_{t \in \text{Turnos}^j} \sum_{d \in \text{DíasEgreso}} \left( Ymas_{d,t}^{j,r} \cdot CtoEgreso^j + \sum_{s \in \text{SemRot}} (Ymas_{d,t,s}^{j,r} \cdot CtoEgreso^j) \right)$$

Finalmente, la función objetivo será:

$$(FO) \quad \min (CTO\_SS\_DOT + CTO\_INGRESO + CTO\_EGRESO)$$

## 11.2. Modelo de dotación para eventos

Este modelo tiene como finalidad entregar la cantidad de apoyos necesarios para un evento específico. Debe entregar como resultado la cantidad de apoyos a ingresar y hasta cuándo será necesario contar con dichos apoyos.

Para la construcción de este modelo, se tomará como base el modelo realizado anteriormente y se modificará para que cumpla su función.

Tomando como referencia el modelo base anual expuesto en la sección anterior, se realizarán las modificaciones que se muestran a continuación.

### 11.2.1. Conjuntos

Con respecto a los conjuntos, se modificarán los siguientes:

- (C1)  $Dias = \{1, \dots, d_f\}$ . El conjunto  $Dias$  ya no contempla todos los días del año, sino que los días del evento.  $d_f$  representa la duración del evento.
- (C2)  $DiasIngreso \subseteq Dias$ . Este conjunto representa los días en que está permitido ingresar apoyos, no necesariamente coincide con los primeros 3 lunes del mes como es política de la empresa, sino que en una planificación previa se establece los días de ingreso de apoyos.
- (C3)  $DiasEgreso \subseteq Dias$ . Este conjunto representa los días en que puede terminar el contrato de los apoyos. No es necesariamente el último día del mes.

Los conjuntos que se mencionan a continuación permanecerán sin modificación:

- (C4)  $Bloque = \{1, \dots, 27\}$
- (C5)  $Jornadas = \{FT45, FT40, MJ30, MJ25, PT20, PT18, PT10\}$
- (C6)  $JornadasPT = \{PT20, PT18, PT10\}$ .
- (C7)  $Rotaciones = \{LV, VS, SD, D, 7D, 4D3S\}$
- (C8)  $RotacionesFix \subseteq Rotaciones$
- (C9)  $RotacionesVar \subseteq Rotaciones$
- (C10)  $Rotaciones^j \subseteq Rotaciones$

$$(C11) \ RotacionesFix^j \subseteq Rotaciones^j$$

$$(C12) \ RotacionesVar^j \subseteq Rotaciones^j$$

$$(C13) \ Turnos^j = 1, \dots, NTUR_j$$

$$(C14) \ SemRot = \{1, \dots, 13\}$$

Y se agregarán los siguientes conjuntos:

$$(C15) \ JornadasApo \subseteq Jornadas. \ Este \ conjunto \ representa \ a \ los \ tipo \ de \ jornada \ que \ se \ puede \ utilizar \ para \ contratar \ apoyos. \ Por \ definición \ de \ la \ empresa \ JornadasApo = \{MJ30\}.$$

$$(C16) \ RotacionesApo = \{6X1\}. \ Conjunto \ que \ representa \ los \ tipo \ de \ rotación \ disponible \ para \ los \ apoyos. \ La \ rotación \ 6X1 \ quiere \ decir \ que \ son \ rotaciones \ fijas \ durante \ la \ semana, \ donde \ se \ trabaja \ 6 \ días \ seguidos \ y \ se \ descansa \ uno \ (siempre \ el \ mismo \ día \ de \ la \ semana).$$

$$(C17) \ Configuraciones = \{1, \dots, NCONF\}. \ Este \ conjunto \ alberga \ todos \ los \ tipos \ de \ configuraciones \ que \ se \ deciden \ liberar \ para \ los \ apoyos. \ Tomando \ en \ cuenta \ que \ son \ rotaciones \ 6X1, \ el \ máximo \ de \ configuraciones \ sería \ 7, \ en \ donde \ cada \ configuración \ representa \ un \ día \ libre \ diferente.$$

$$(C18) \ TurnosApo^j = \{1, \dots, NTUR_j\}. \ Este \ conjunto \ representa \ los \ diferentes \ turnos \ posibles \ durante \ el \ día \ para \ los \ contratos \ de \ apoyo \ con \ tipo \ de \ jornada \ j \in JornadasApo. \ En \ este \ caso, \ al \ haber \ sólo \ un \ tipo \ de \ jornada \ de \ apoyos \ j, \ TurnosApo^{MJ30} = \{1, \dots, 18\}, \ ya \ que \ 18 \ son \ las \ configuraciones \ posibles \ para \ cumplir \ las \ 5 \ horas \ diarias \ sin \ salir \ de \ los \ rangos \ de \ bloque \ mínimo \ y \ máximo \ de \ la \ jornada \ laboral.$$

### 11.2.2. Parámetros

Los parámetros que serán eliminados con respecto al modelo anterior serán:

$$(P7) \ CtoIngreso^{j \in Jornadas}$$

$$(P8) \ CtoEgreso^{j \in Jornadas}$$

$$(P10) \ MinRotativos$$

La razón por la cual se eliminan estos parámetros es porque la decisión ya no será cuánto personal base ingresará o terminará su contrato, sino que se decidirá el ingreso de apoyos los cuales no tendrán un costo asociado a su ingreso o egreso. Lo importante será cubrir con el menor margen posible las horas persona requeridas para el evento.

La cantidad de personal base que está contratado se utilizará como un dato más que como una variable de decisión.

Permanecerán sin variación los siguientes parámetros:

$$(P1) \text{ Demanda}_{d,h \in \text{Dias}, \text{Bloques}}$$

$$(P2) \text{ TUR}_{t,h \in \text{Turnos}^j, \text{Bloques}}^{j \in \text{Jornadas}}$$

$$(P3) \text{ TRAB}_{\text{d} \in \text{Dias}}^{r \in \text{RotacionesFix}}$$

$$(P4) \text{ TRAB}_{s,\text{d} \in \text{SemRot}, \text{Dias}}^{r \in \text{RotacionesFix}}$$

$$(P5) \text{ CtoOver}$$

$$(P6) \text{ CtoUnder}$$

$$(P9) \text{ NivServicio}$$

Además, se agregarán los parámetros descritos a continuación:

$$(P11) \text{ TUR}_{t,h \in \text{TurnosApo}^j, \text{Bloques}}^{j \in \text{JornadasApo}} = \begin{cases} 1 & \text{si el turno } t \text{ de la jornada } j \text{ cubre el bloque horario } h \\ 0 & \end{cases} \sim$$

$$(P12) \text{ TRAB}_{c,d \in \text{Configuraciones}, \text{Dias}} = \begin{cases} 1 & \text{si el día } d \text{ deben trabajar las personas de configuración } c \\ 0 & \end{cases} \sim$$

(P13)  $PPTO > 0$ . Parámetro entero positivo que representa la cantidad de horas persona asignadas a la tienda durante el evento. Cada tienda tiene un presupuesto de horas diferente.

(P14)  $Actuales_t^{j,r} \geq 0$ . Este parámetro entero representa la cantidad de personas de jornada  $j$  rotación fija  $r$  y turno  $t$  que hay presentes al inicio del evento (y que permanecerá constante).

(P15)  $Actuales_{t,s}^{j,r} \geq 0$ . Este parámetro entero representa la cantidad de personas de jornada  $j$  rotación de 13 semanas  $r$  semana de rotación  $s$  y turno  $t$  que hay presentes al inicio del evento (y que permanecerá constante).

### 11.2.3. Variables de Decisión

Durante los eventos se considera la dotación base fija, por lo que la única decisión se refiere a cuántos apoyos de cada jornada, turno y configuración ingresar y cuando terminan su contrato. Por esta razón, las cuatro variables de decisión del modelo anual se eliminan y se consideran las siguientes dos:

- (VD1)  $Y_{d,t,c \in \text{Días}, \text{Ingreso}, \text{Turnos}, \text{Apo}^j, \text{Configuraciones}}^{j,r \in \text{Jornadas}, \text{Apo}, \text{Rotaciones}, \text{Apo}} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas a contratar de jornada  $j$ , rotación  $r$ , configuración  $c$ , turno  $t$  con ingreso el día  $d$ .
- (VD2)  $Y_{d,t,c \in \text{Días}, \text{Egreso}, \text{Turnos}, \text{Apo}^j, \text{Configuraciones}}^{j,r \in \text{Jornadas}, \text{Apo}, \text{Rotaciones}, \text{Var}^j} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación  $r$ , configuración  $c$ , turno  $t$  que terminan su contrato de trabajo el día  $d$  (el día  $d$  ya no trabajaría).

#### 11.2.4. Variables de Estado

Todas las variables de estado del modelo anual se heredan para este modelo, no obstante cabe mencionar que las variables (VE1) y (VE2) se considerarán fijas ya que se considera que la dotación base no varía durante el evento.

- (VE1)  $Y_{d,t \in \text{Días}, \text{Turnos}^j}^{j,r \in \text{Jornadas}, \text{Rotaciones}, \text{Fix}^j} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación fija  $r$  y turno  $t$  que se encuentran trabajando el día  $d$ .
- (VE2)  $Y_{d,t,s \in \text{Días}, \text{Turnos}^j, \text{SemRot}}^{j,r \in \text{Jornadas}, \text{Rotaciones}, \text{Fix}^j} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación de 13 semanas  $r$ , semana de rotación  $s$  y turno  $t$  que se encuentran trabajando el día  $d$ .
- (VE3)  $Oferita_{d,h \in \text{Días}, \text{Bloques}} \geq 0$ . Variable que representa la cantidad de horas persona con las que se cuenta en el día  $d$ , bloque de media hora  $h$ .
- (VE4)  $HrsOver_{d,h \in \text{Días}, \text{Bloques}}$ . Variable que representa la cantidad de horas persona con las que se dispone que están por sobre la cantidad de horas requeridas el día  $d$ , bloque horario  $h$ .
- (VE5)  $HrsUnder_{d,h \in \text{Días}, \text{Bloques}}$ . Variable que representa la cantidad de horas persona con las que se dispone que están por debajo de la cantidad de horas requeridas el día  $d$ , bloque horario  $h$ .

Además se agrega la siguiente variable de estado asociada a las variables de decisión:

- (VE6)  $Y_{d,t,c \in \text{Días}, \text{Turnos}, \text{Apo}^j, \text{Configuraciones}}^{j,r \in \text{Jornadas}, \text{Apo}, \text{Rotaciones}, \text{Apo}} \geq 0$ . Variable entera que representa la cantidad de personas de jornada  $j$ , rotación  $r$ , configuración  $c$  y turno  $t$  que se encuentran trabajando el día  $d$ .

### 11.2.5. Restricciones

En primer lugar desde la restricción (R1) a la restricción (R8) se establecerá la naturaleza de las variables.

$$(R1) \quad Ymas_{d,t,c}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in JornadasApo, r \in RotacionesApo, d \in DiasIngreso, \\ t \in TurnosApo^j, c \in Configuraciones$$

$$(R2) \quad Ymenos_{d,t,c}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in JornadasApo, r \in RotacionesApo, d \in DiasIngreso, \\ t \in TurnosApo^j, c \in Configuraciones$$

$$(R3) \quad Y_{d,t}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, d \in Dias, t \in Turnos^j$$

$$(R4) \quad Y_{d,t,s}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, d \in Dias, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

$$(R5) \quad Oferta_{d,h} \in \mathbb{R} \quad \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

$$(R6) \quad HrsOver_{d,h} \in \mathbb{R}_0^+ \quad \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

$$(R7) \quad HrsUnder_{d,h} \in \mathbb{R}_0^+ \quad \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

$$(R8) \quad Y_{d,t,c}^{j,r} \in \mathbb{N} \quad \forall j \in JornadasApo, r \in RotacionesApo, d \in Dias, \\ t \in TurnosApo^j, c \in Configuraciones$$

(R9) Definición de Oferta. Esta restricción define la variable *Oferta* con la cantidad de horas persona con que se cuenta en cada día *d* y bloque horario *h*.

$$Oferta_{d,h} = \sum_{j \in Jornadas} \sum_{r \in RotacionesFix^j} \sum_{t \in Turnos^j} \left( \frac{Y_{d,t,c}^{j,r} \cdot TUR_{t,h}^j \cdot TRAB_d^j}{2} + \right. \\ \left. \sum_{s \in SemRot} \frac{Y_{d,t,s}^{j,r} \cdot TUR_{t,h}^j \cdot TRAB_{s,d}^j}{2} \right) + \\ \sum_{j \in JornadasApo} \sum_{r \in RotacionesApo} \sum_{t \in TurnosApo^j} \sum_{c \in Configuraciones} \left( \frac{Y_{d,t,c}^{j,r} \cdot TUR_{t,h}^j \cdot TRAB_{c,d}^j}{2} \right) \\ \forall d \in Dias, h \in Bloques$$

Para cada día (*d*) y bloque horario (*h*), se multiplica la cantidad de personas presentes (*Y*) por los parámetros binarios *TUR* y *TRAB* de tal manera que sobrevivan sólo las cantidades cuyo turno cubra el bloque horario *h* y cuya rotación cubra el día laboral *d*. Cabe mencionar que esta multiplicación está dividida por dos debido a que el día está modelado en bloques de media hora por lo que en un bloque una hora persona significa que hay dos personas presentes en dicho bloque. Esta restricción es igual a la del modelo anual, pero se agregó las horas cubiertas por los apoyos.

(R10) Relación entre oferta y demanda. Esta restricción se mantiene del modelo anual.

$$Oferta_{d,h} + HrsUnder_{d,h} - HrsOver_{d,h} = Demanda_{d,h}$$

$$\forall d \in Dias, h \in Bloques$$

Las restricciones de flujo que se mencionan a continuación consideran el flujo (ingreso y egreso) de apoyos durante el evento. Las personas que no son apoyos no siguen este flujo porque permanecen constante durante el evento.

(R11) Flujo de apoyos en días de ingreso y egreso de personal.

$$Y_{d,t,c}^{j,r} = Y_{d-1,t,c}^{j,r} + Ymas_{d,t,c}^{j,r} - Ymenos_{d-1,t,c}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasIngreso \cap DiasEgreso), j \in JornadasApo, r \in RotacionesApo,$$

$$t \in TurnosApo^j, c \in Configuraciones$$

(R12) Flujo de apoyos en días de ingreso de personal.

$$Y_{d,t,c}^{j,r} = Y_{d-1,t,c}^{j,r} + Ymas_{d,t,c}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasIngreso \setminus DiasEgreso), j \in JornadasApo, r \in RotacionesApo,$$

$$t \in TurnosApo^j, c \in Configuraciones$$

(R13) Flujo de personal de apoyos en días de egreso de personal.

$$Y_{d,t,c}^{j,r} = Y_{d-1,t,c}^{j,r} - Ymenos_{d,t,c}^{j,r}$$

$$\forall d \in (DiasEgreso \setminus DiasIngreso), j \in JornadasApo, r \in RotacionesVar^j,$$

$$t \in TurnosApo^j, c \in Configuraciones$$

(R14) Flujo de apoyos en días en que no hay ingreso ni egreso de personal.

$$Y_{d,t,c}^{j,r} = Y_{d-1,t,c}^{j,r}$$

$$\forall d \in (Dias \setminus DiasIngreso \setminus DiasEgreso), j \in JornadasApo, r \in RotacionesApo,$$

$$t \in TurnosApo^j, c \in Configuraciones$$

(R15) Condición inicial de apoyos. Esta restricción suma sobre las jornadas, rotaciones, turnos y configuraciones y establece que en el día  $d = 0$  no existe dotación.

$$\sum_{j \in JornadasApo} \sum_{r \in RotacionesApo} \sum_{t \in TurnosApo^j} \sum_{c \in Configuraciones} Y_{d,t,c}^{j,r} = 0$$

$$\forall d \in \{0\}$$

(R16) Mínimo de personas trabajando mientras la tienda está abierta.

$$Oferta_{d,h} >= 1 \quad \forall d \in Dias, h \in \{APE, ..., CIE\}$$

(R17) Presupuesto de horas personas asignado para el evento. A cada tienda se le asigna una cantidad de horas persona que pueden utilizar durante el evento.

$$\sum_{d \in Dias} \sum_{h \in Bloques} Oferta_{d,h} \leq PPTO$$

Como ya se ha mencionado anteriormente, la cantidad de personal que no son apoyos es constante durante el evento y debe establecerse como restricciones:

(R18) Establecer cantidad de personas de rotación fija de cada tipo de jornada y turno.

$$Y_{d,t}^{j,r} = Actuales_t^{j,r}$$

$$\forall j \in Jornadas, r \in RotacionesFix^j, d \in Dias \cup \{0\}, t \in Turnos^j$$

(R19) Establecer cantidad de personas de rotación de 13 semanas de cada tipo de jornada y turno.

$$Y_{d,t,s}^{j,r} = Actuales_{t,s}^{j,r}$$

$$\forall j \in Jornadas, r \in RotacionesVar^j, d \in Dias \cup \{0\}, t \in Turnos^j, s \in SemRot$$

### 11.2.6. Función Objetivo

Dado que no se establecieron costos asociados al ingreso o egreso de personal, la función objetivo será minimizar el costo de sub/sobre dotación.

(FO)

$$\min \sum_{d \in Dias} \sum_{h \in Bloques} HrsOver_{d,t} \cdot CdotOver + HrsUnder_{d,t} \cdot CtoUnder$$

# Capítulo 12

## Principales resultados

Los modelos realizados anteriormente se escribieron en formato AMPL, en donde para cada modelo se requiere crear tres archivos: un archivo en donde se escribe el modelo propiamente tal, un archivo con los datos del modelo y uno con los comandos para resolverlo. Se utilizó AMPL para escribir computacionalmente el modelo debido a que es muy intuitivo escribir el modelo matemático en este lenguaje a parte de tener una amplia documentación.

AMPL es un lenguaje en el cual se escribe el modelo, sin embargo para resolverlo es necesario utilizar un *solver* adecuado. Para programación entera mixta las opciones utilizadas mayormente son CPLEX y Gurobi, ambos *solvers* con licencia de pago. Para poder tener acceso a estos *solvers* de forma gratuita, existe una interfaz *online* recomendada en la página web de AMPL a la cual se puede acceder, NEOS Server. NEOS Server es un servicio web para la resolución de problemas numéricos de optimización alojado por el Wisconsin Institute for Discovery en la Universidad de Wisconsin que provee una alta cantidad de *solvers* de forma gratuita, además de aceptar como *input* modelos escritos en AMPL. Este servicio resuelve los modelo en máquinas distribuidas, por lo que el tiempo de resolución es menor al que se podría obtener en un computador de escritorio estándar.

### 12.1. Modelo de dotación base anual

Una vez escrito el modelo de dotación anual, se procedió a ser ejecutado en NEOS Server, sin embargo el modelo tomó más de las 8 horas límite que puede estar corriendo el programa debido a la gran cantidad de variables y restricciones con las que el modelo contaba. Se intentó correr el modelo en AMPL de forma local, pero el modelo después de un día no terminó de ejecutarse. Esto era de esperarse ya que si no pudo ejecutarse en 8 horas en el cluster de la Universidad de Wisconsin, tomaría mucho más en un notebook estándar.

Debido al inconveniente se decidió optar por simplificar el modelo, manteniendo la esencia del modelo, pero disminuyendo drásticamente la cantidad de variables y restricciones a considerar. Las simplificaciones a realizar fueron las siguientes:

- Dentro de la dotación a encontrar, se establecerá una dotación que no varía durante el año. Es decir, se considerará que una parte de la dotación a contratar estará presente durante el año completo.
- Sólo un subconjunto de jornadas podrán utilizarse como dotación variable, considerando que pueden ser contratados uno de los primeros tres lunes de cada mes y que pueden terminar contrato el último día de cada mes.
- El subconjunto de jornadas que puede ser dotación variable son de rotación fija y son: Full time de 45 horas de lunes a viernes, Media Jornada de 30 horas de lunes a viernes y Part Time de 18 horas de sábado y domingo. Se establecieron estas jornadas puesto que según lo expuesto en la compañía son los tipos de jornada más fáciles de contratar y además de esta forma la dotación rotativa queda establecida y fija desde el primer día del año.
- El resto de definiciones y restricciones del modelo permanecen sin cambio.

Para la ejecución de este modelo se utilizarán los datos del año 2018 para de esta forma poder comparar los resultados del modelo con lo que realmente sucedió. Se quiere corroborar si el modelo entrega una mejor configuración de turnos y jornadas que la que efectivamente se contrató.

Además para la ejecución del modelo se tomaron en cuenta las siguientes definiciones:

- Todos los costos de la función objetivo se encuentran cuantificados en horas persona.
- Tanto el costo de ingreso como el costo de egreso se estimó en base a la percepción de cuánto le cuesta a la empresa encontrar o prescindir de una persona de cada jornada. Esto fue cuantificado en dinero y luego se transformó a horas persona, mediante un valor promedio. Los costos son tales que:

$$CtoIngreso^{PT18} < CtoIngreso^{FT45} < CtoIngreso^{MJ30}$$

$$CtoEgreso^{PT18} < CtoEgreso^{MJ30} < CtoEgreso^{FT45}$$

- Las personas que se contraten que son estáticas durante todo el año por la simplificación del problema, no tendrán un costo asociado a su contratación, puesto que serán de planta durante todo el año.
- Puesto que el nivel de servicio mínimo se estableció como una restricción, cumpliendo con dicha restricción se considerará que está bien y no hay ningún costo asociado. Es por esto el el parámetro  $CtoUnder$  se establece como 0. El parámetro  $CtoOver$  se establece igual a 1, lo cual significa que el costo asociado es el costo de una hora persona.
- El mínimo de personas rotativas durante cada día es de 2 y como se mencionó en la simplificación del problema las personas rotativas de 13 semanas se contratan durante un año completo.
- El nivel de servicio mínimo se traduce en una restricción que obliga a tener al menos un 83 % de la dotación requerida.

Para la ejecución del modelo se estableció un GAP de un 5 % y se muestran a continuación los resultados obtenidos tanto para la tienda Centro como para la tienda Mall.

### 12.1.1. Tienda Centro

Antecedentes de la ejecución:

- Presupuesto 2018: 29.513 horas
- Real 2018: 37.711 horas
- Resuelto en NEOS HTCondor
- Tiempo de resolución: 9 minutos 50 segundos
- 547.417 variables
- 535.090 restricciones
- 150.192 iteraciones MIP Simplex
- GAP: 0,043

Resultados generales:

- Función objetivo: 8.987
- $\sum Oferta = 26,682$
- $\sum HrsUnder = 181,5$
- $\sum HrsOver = 7961$

De los resultados generales se desprende que según el modelo deberían utilizarse 2.825 horas, lo que se encuentra un 9,5 % por debajo del presupuesto y un 29,2 % por debajo de la cantidad real de horas utilizadas el año 2018. También se desprende de los datos generales que en muy pocas ocasiones existe sub dotación con respecto a lo requerido, ya que en todo el año se tiene una sub dotación de 181,5 horas, lo cual da un promedio de 0,5 horas diarias. Por otro lado, existe una sobre dotación de 7.961 horas por lo que, por lo general el modelo cubrirá con mayor cantidad de horas que las necesarias, lo cual puede deberse a la restricción establecida de cumplir al menos un 83 % de la dotación requerida.

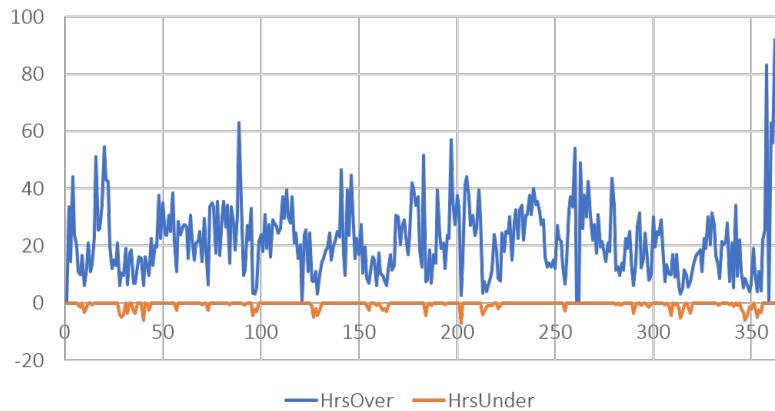


Figura 12.1: Sub/sobre dotación de personal, modelo anual, tienda Centro

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

En la Figura 12.1 se muestra el error diario del modelo en donde se corrobora lo expuesto anteriormente. La mayoría de los días el modelo entrega mayor cantidad de horas que las

requeridas, mientras que pocos días cubre menos horas de las requeridas y también en menor magnitud. En la figura también se puede ver que la sobre dotación es relativamente estable excepto en los últimos días del año, lo cual puede verse explicado por una abrupta caída de las horas necesarias los días posteriores a Navidad.

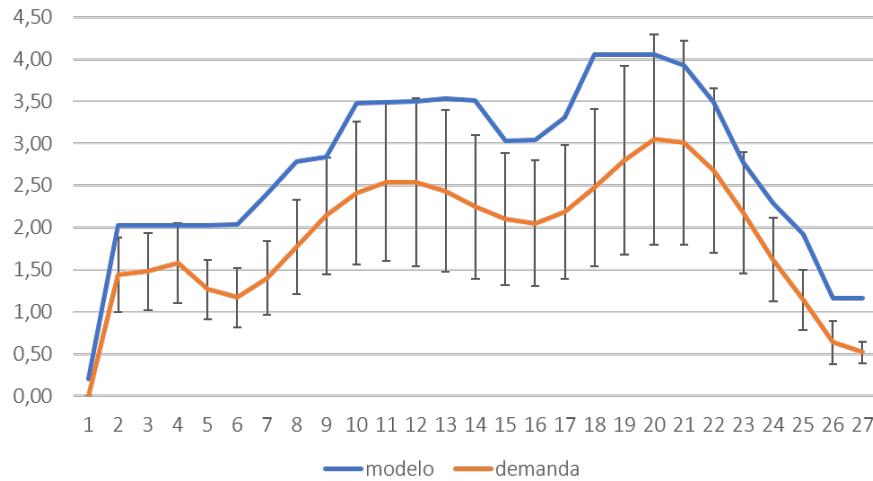


Figura 12.2: Promedio de horas requeridas y cubiertas con el resultado del modelo anual  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

La Figura 12.2 muestra la demanda promedio de horas con su respectiva desviación estándar y el promedio de horas cubiertas con el resultado del modelo. Como era de esperar la curva del modelo está en todo momento por sobre la curva de horas requeridas, lo cual se deba posiblemente a la restricción establecida del mínimo nivel de servicio. Además, cabe destacar que la curva del modelo es muy similar en forma a la de demanda puesto que marca los mismos *peaks*, por lo que se puede inferir que el modelo no sobreestima mucho algunos bloques horarios por sobre otros.

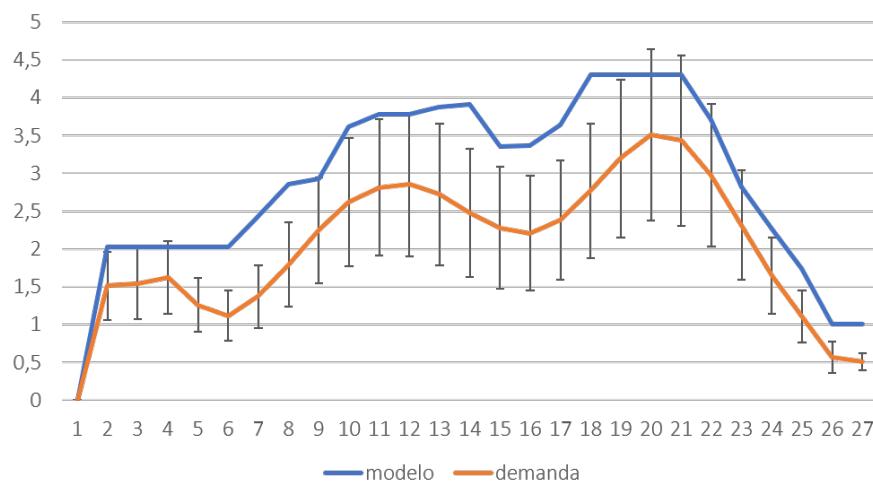


Figura 12.3: Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de lunes a viernes  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

Viendo ahora el mismo gráfico pero solamente para los días de la semana, en la Figura

12.3 se puede ver prácticamente lo mismo, la curva del modelo se comporta muy similar a la demanda. Esto también ocurre los fines de semana, tal y como se muestra en la figura 12.4, sin embargo, pese a que la distribución de las horas requeridas es mas plana, el modelo de igual manera marca dos *peaks*, pero no tan marcados como en los días de semana.

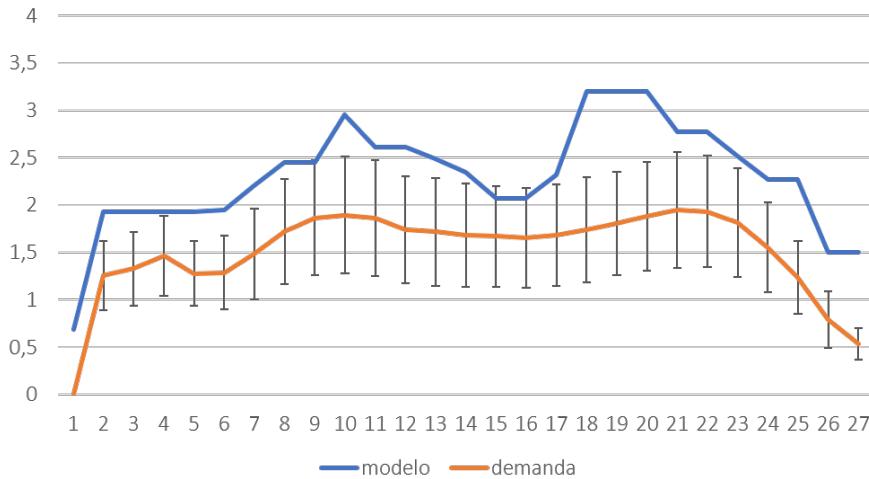


Figura 12.4: Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de sábado a domingo  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

### 12.1.2. Tienda Mall

Antecedentes de la ejecución:

- Presupuesto 2018: 38.184 horas
- Real 2018: 42.540 horas
- Resuelto en NEOS HTCondor
- Tiempo de resolución: 10 minutos 37 segundos
- 547.417 variables
- 535.090 restricciones
- 1.517.077 iteraciones MIP Simplex
- GAP: 0,047

Resultados generales:

- Función objetivo: 7.427,75
- $\sum Oferta = 24,238$
- $\sum HrsUnder = 153,25$
- $\sum HrsOver = 6,551,75$

Tal y como se muestra en los resultados generales, el resultado del modelo entrega un uso de las horas contratadas que representa un ahorro de un 36,5 % con respecto al presupuesto y un 38,7 % de ahorro con respecto a las horas reales contratadas por la tienda Mall.

Con respecto a la sub/sobre dotación se puede ver que el modelo sobre estima la cantidad de horas, ya que en todo el año sólo se estuvo sub dotado en 153,25 horas con respecto al requerimiento de horas, lo que da un promedio diario de 0,42 horas diarias de subdotación.

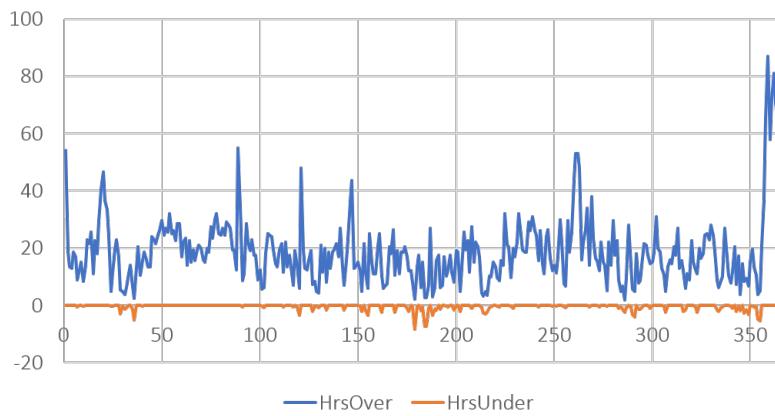


Figura 12.5: Sub/sobre dotación de personal, modelo anual, tienda Mall

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

En la figura 12.5 se muestra la sub/sobre dotación por día notando que existe una sobre-dotación constante que oscila entre las 5 y 40 horas diarias, no obstante existe un alza en la sobre dotación los días posteriores a navidad, dado que baja considerablemente el flujo de personas.

En la Figura 12.6 se puede ver el promedio durante el día del modelo comparado con la demanda de horas. En ella se observa que a grandes rasgos ambas curvas son muy similares y la curva del modelo se encuentra en todo momento sobre la curva de demanda.

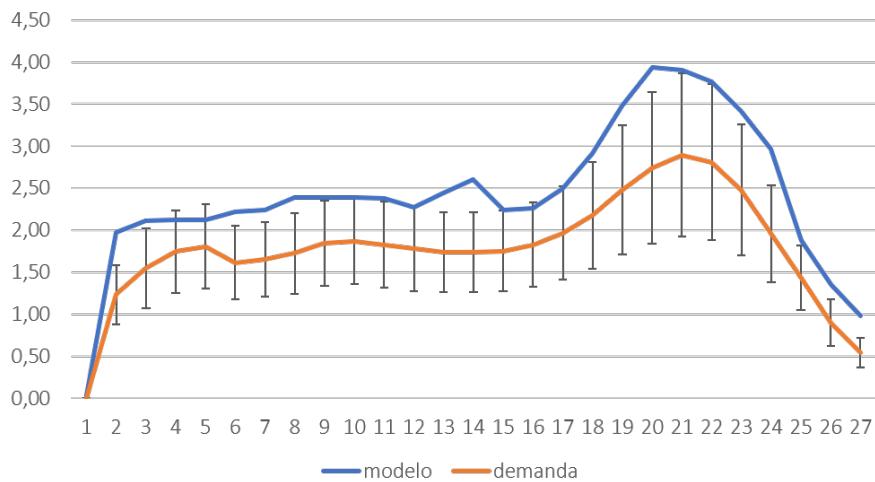


Figura 12.6: Promedio de horas requeridas y cubiertas con el resultado del modelo anual

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

Al igual que el promedio anual, en el promedio de todos los días de lunes a viernes (Figura 12.7) ambas curvas son muy similares. Donde no ocurre esto, es en el promedio de fin de

semana, donde pese a que la curva de demanda es más plana, la curva del modelo marca igualmente un *peak* (aunque menos marcado).

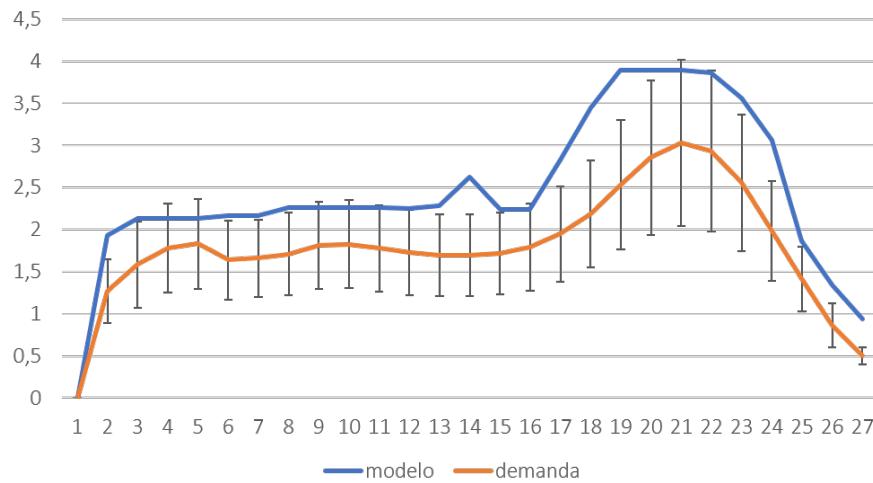


Figura 12.7: Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de lunes a viernes  
 Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

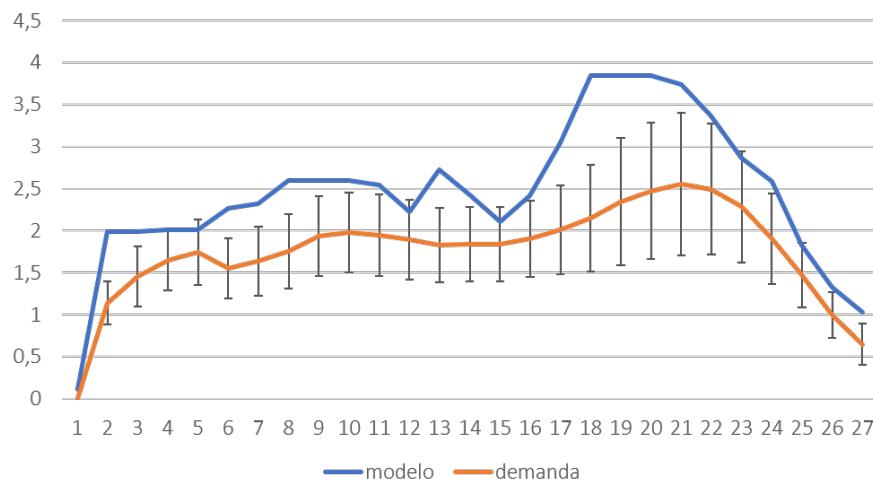


Figura 12.8: Promedio de horas requeridas y cubiertas con el modelo de sábado a domingo  
 Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

## 12.2. Modelo de dotación para eventos

El modelo de dotación para eventos se ejecutó en base a las definiciones realizadas por la empresa para el CyberDay 2019 a realizarse entre los días 27 y 29 de mayo, que se describen a continuación.

- La duración del evento, en cuanto a entregas se definió a 21 días, es decir, todos los productos vendidos durante el CyberDay deben ser planificados a entregar en 21 días a partir del primer día del evento. Por esta razón se pretende entregar los productos del CyberDay entre los días 27 de mayo y 16 de junio.
- Todos los apoyos a contratar son de tipo media jornada de 30 horas 6X1. Los apoyos trabajan 5 horas diarias y sin horario de colación durante 6 días de la semana y descansan el día restante.
- Se definieron dos configuraciones para los apoyos: lunes libre y miércoles libre.
- Los turnos disponibles para los apoyos son 9, pudiendo ser asignados a entrar a las 9:00, 9:30, 10:00, 10:30, 11:00, 11:30, 16:00, 16:30, 17:00.
- Se definió que los apoyos podían entrar los días 1 y 3 del evento. Y estos podían cesar su trabajo los días 7, 14 y 21 del evento.

Cabe mencionar que si bien mientras más opciones de configuraciones, turnos, jornadas y días de ingreso y egreso se establezcan, se tendrá una mayor cobertura y se reducirá el tiempo ocioso, pero esto no es operacionalmente aplicable en su totalidad en la realidad, ya que por ejemplo, no es factible contratar a todo el personal por un sólo día.

Tal y como se estimó en el Capítulo 8, se estableció como restricción de nivel de servicio que para cada bloque se cuente con al menos un 80 % del personal necesario. Además, como el nivel de servicio se establece como una restricción y luego de eso lo que interesa es reducir el tiempo ocioso de los trabajadores se establecen los parámetros  $CtoUnder = 0$  y  $CtoOver = 1$ . Esto indica que sobre el 80 % del personal presente no afecta como costo las horas persona de déficit (esto también dado que el nivel de servicio se refleja en la atención y en caso de necesitar personal en esta tarea, la pueden suplir personas que estén realizando otras tareas).

Para la ejecución del modelo se estableció un GAP del 5 %. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

### 12.2.1. Tienda Centro

Antecedentes de la ejecución:

- Presupuesto: 4.139 horas
- Resuelto en NEOS HTCondor
- Tiempo de resolución: 10 segundos
- 2.130 variables
- 1.492 restricciones

- 72 iteraciones MIP Simplex

Resultados generales:

- Función objetivo: 1.134,5
- $\sum Oferta = 2,825$
- $\sum HrsUnder = 16,5$
- $\sum HrsOver = 1,134,5$

En base a los resultados generales se puede ver que en total se utilizaron 2.825 horas de un total de 4.139 horas presupuestadas. Esto implica un ahorro de un 32 % con respecto al presupuesto, aproximadamente. Sin embargo, en estas horas se debería considerar a un jefe de *click and collect* que sólo supervise, lo que serían 45 horas extra por semana. En total, con los resultados del modelo y un jefe, se utilizarían 2.960 horas, un 28,5 % menos que lo presupuestado.

Ahora en términos de sub/sobre dotación, se puede observar que en los 21 días la cantidad de horas faltantes con respecto a lo requerido fue de 16,5 horas. Lo que es en promedio menos de una hora diaria. Esto indica que con la restricción propuesta del nivel de servicio (al menos 80 % de la dotación requerida para cada bloque) en muy pocas ocasiones se necesitaría más personal del que se tiene. Por otro lado, se puede ver que aún existe sobre dotación con un total de 1.134,5 horas en los 21 días. En la Figura 12.9 se puede observar tanto la curva de demanda como la curva de horas cubiertas con los resultados del modelo y se puede notar que en la mayoría de los bloques horarios se cubre la demanda considerando su desviación estándar.

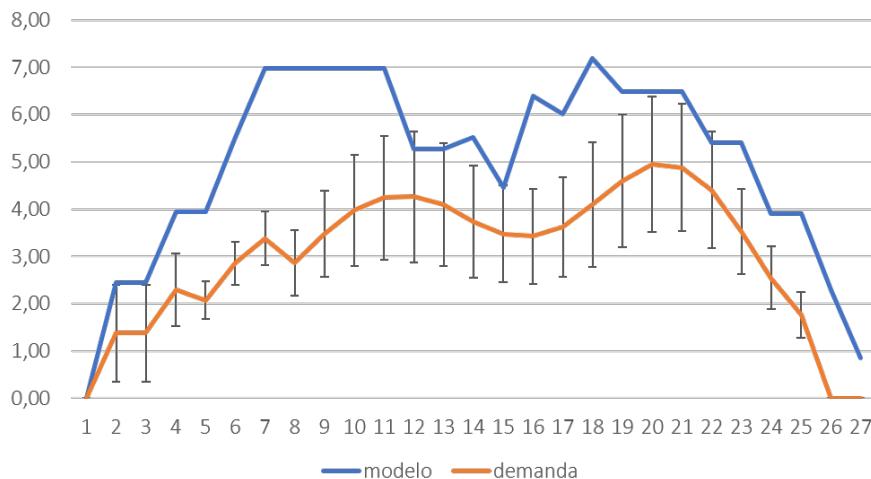


Figura 12.9: Promedio de horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

La Figura 12.11 se muestra la sub/sobre dotación de todos los bloques horarios del evento en orden cronológico. Es evidente notar que la mayoría de los errores se producen en la primera semana del evento (días del 1 al 7). Esto se puede explicar principalmente a que la primera semana del evento es la que tiene mayor cantidad de reservas, entregas y recepción

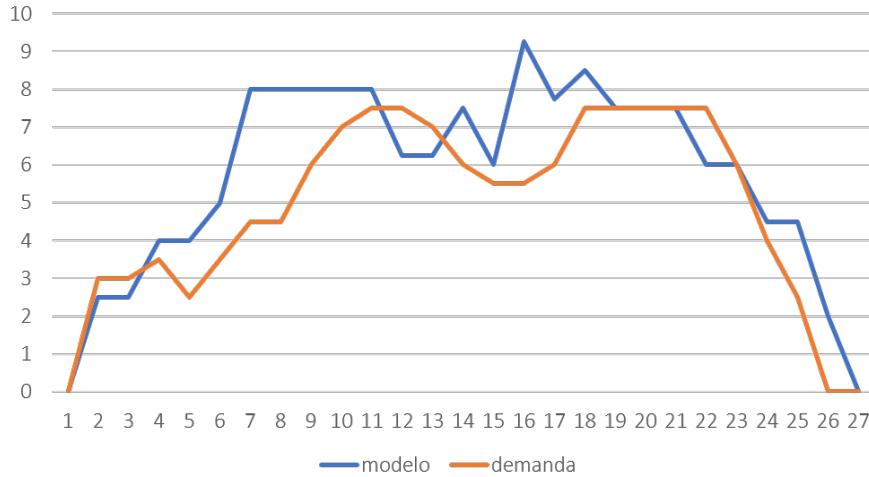


Figura 12.10: Horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo, día 3

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

de producto y además es muy variable. Por ejemplo, el día 1 del evento es el día que concentra la mayor cantidad de reservas, y estas disminuyen a la mitad los días 2 y 3 y luego vuelven a la normalidad; por otra parte la mayor cantidad de recepciones comienzan en el día 2, ya que no se puede enviar productos desde el centro de abastecimiento para el mismo día; finalmente el día que tiene la mayor cantidad de entregas es el día 3. En la Figura 12.10 se muestra el tercer día (de más entrega), viendo que la curva entregada por el modelo se ajusta con bastante poco error al requerimiento de horas persona.

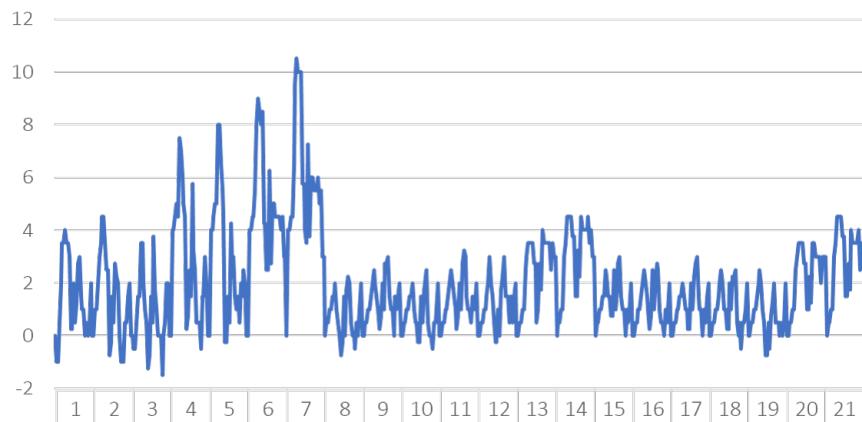


Figura 12.11: Sub/sobre dotación de personal para el evento en tienda Centro

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

Los primeros 3 días del evento no tienen gran cantidad de error puesto que el ingreso de personal se realiza en el primer día y en el tercero. Por esta razón, hasta el día 3 estaría cubierto, sin embargo al tener la dotación para cumplir estos días que son los más fuertes se obtiene como consecuencia una sobre dotación los días restante. Lo anterior se puede corroborar en la Figura 12.12 en donde se ve con mayor detalle la sobre dotación dicha semana en donde los primeros tres días tienen la menor sobre dotación, luego los días 4 y 5 aumenta la sobre dotación en la mañana producto de la disminución en la cantidad de

reservas y los dos días siguientes aumenta considerablemente tanto en la mañana como en la tarde. Es interesante notar que la sobre dotación va en aumento hasta el día 7 y cae abruptamente el día 8, lo que se debe a que el día 7 es un día de salida, por lo que el modelo disminuye bastante su dotación dicho día.

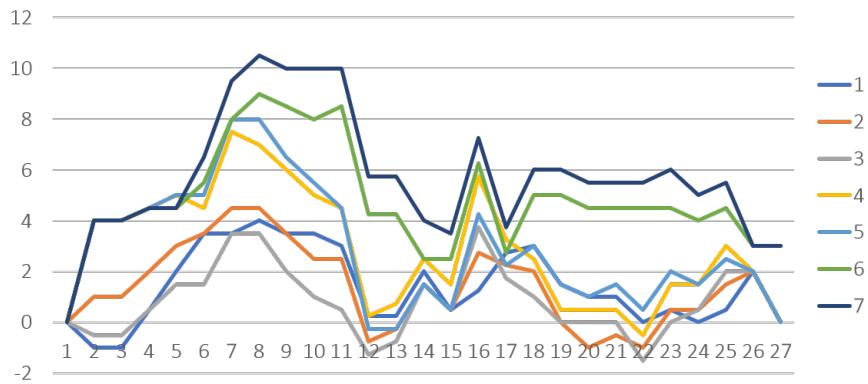


Figura 12.12: Sub/sobre dotación de personal primera semana del evento, tienda Centro

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

Las siguientes dos semanas no tienen tanto error como la primera, no obstante se repite como patrón que los días que representan el fin de semana (13, 14, 20, 21) tienen mayor error. Esto se debe principalmente a que el modelo se ajusta a los días de semana mayormente y además como días libres sólo se tiene lunes y miércoles.

Como posible solución para los problemas expuestos anteriormente se puede mencionar en primer lugar, habilitar más días para ingresar y salir para que de esta manera pueda ingresar personas con jornadas diferentes a las establecidas en los días 1 y 3. Además, se pueden habilitar más configuraciones de días libres para poder ajustarse más a la demanda los fines de semana. También podría ayudar a encontrar una mejor solución agregar otro tipo de jornadas, además de relajar la restricción del nivel de servicio.

### 12.2.2. Tienda Mall

Antecedentes de la ejecución:

- Presupuesto: 4.768 horas
- Resuelto en NEOS HTCondor
- Tiempo de resolución: 4 segundos
- 2.130 variables
- 1.492 restricciones
- 114 iteraciones MIP Simplex

Resultados generales:

- Función objetivo: 1.016

- $\sum Oferta = 3,150$
- $\sum HrsUnder = 27,5$
- $\sum HrsOver = 1,016$

Realizando un análisis a simple vista se puede notar que el modelo en la tienda Mall tuvo un desempeño mejor que el observado en la tienda Centro. En la Figura 12.13 se muestra el promedio del evento en horas requeridas y ofrecidas según el resultado del modelo y se ven ambas curvas bastante similares. En total el modelo hace uso de 3.150 horas del total de 4.768 horas de presupuesto. Considerando un jefe todos los días, se obtiene un ahorro de un 31% con respecto al presupuesto. El déficit de horas persona en el total del evento es de 27,5 que da un promedio de 1,3 horas diarias aproximadamente, por lo que la restricción del mínimo nivel de servicio fuerza a que el déficit sea bajo y en pocos bloques horarios. Se obtuvo una sobre dotación en todo el evento de 1.016 horas.

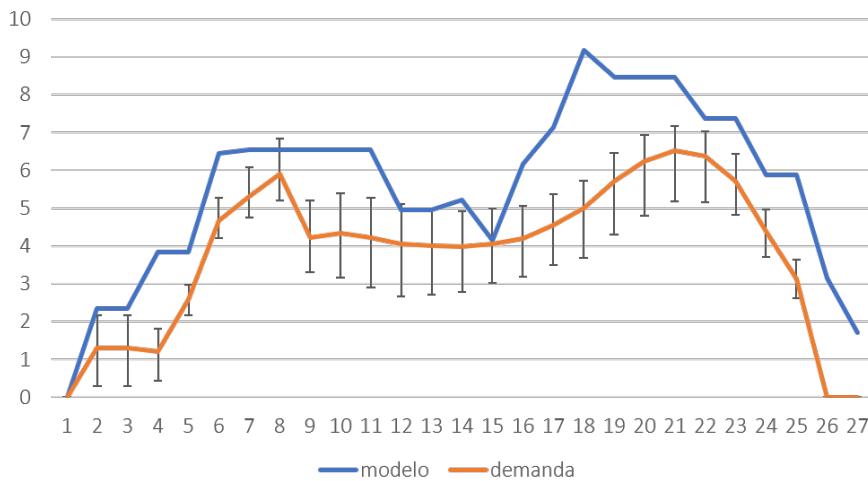


Figura 12.13: Promedio de horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

Mirando particularmente los días 1 y 3 que son los días de mayor cantidad de reservas y entregas respectivamente, que se muestran en las Figuras 12.14 y 12.15 respectivamente, se puede ver que en ambos días la curva de oferta estuvo muy cercana a la curva de demanda. Además, cabe destacar que el día 1 al ser el día de mayor reservas concentra más horas en la mañana que los demás días por lo que es de esperar que la restricción del 80% de horas requeridas produzca tiempo ocioso en los días posteriores.

Al mirar el gráfico de sub/sobre dotación (Figura 12.16) se puede ver que está más normalizado que el caso de la tienda Centro, con la ausencia de grandes *outliers*. Sin embargo, se puede notar que luego del día 3 aumenta este error debido a que al estar dotados para el día 3 (de mayor cantidad de entregas) los días siguientes se encuentra sobre dotado. Al ver la Figura 12.17 que realiza un zoom a la primera semana, se ve como los primeros tres días el error es bastante bajo, luego los días 4 y 5 aumenta y vuelve a aumentar los días 6 y 7 correspondientes al fin de semana. También se aprecia en los gráficos que se repite el patrón del fin de semana, esto principalmente ya que la demanda durante el día se comporta muy similar de lunes a viernes, pero es diferente (y menor) los fines de semana y cabe destacar

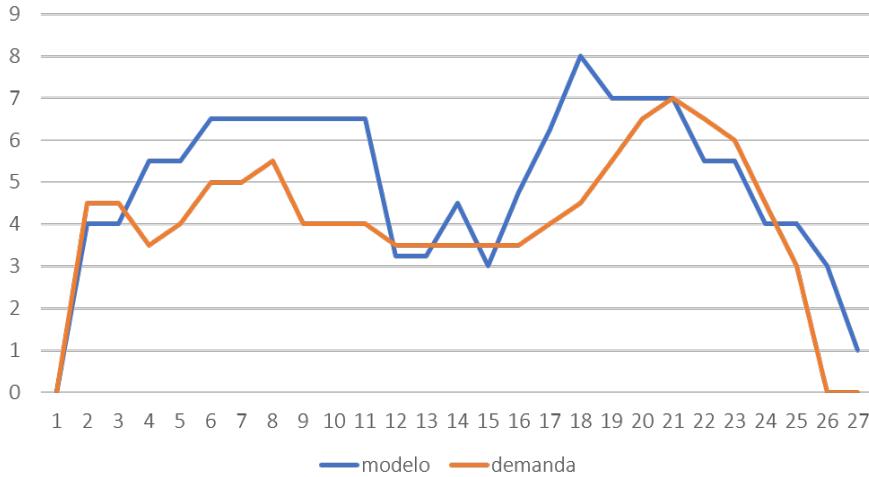


Figura 12.14: Horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo, día 1

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

que este efecto es mayor en la tienda Centro porque las tiendas de centro se caracterizan por tener un menor flujo de clientes los fines de semana.

En general, se puede concluir que en la tienda Mall el modelo obtuvo mejores resultados por la naturaleza de su demanda, principalmente las entregas que canalizan en mayor flujo de horas persona y que tienen un sólo *peak* bien marcado en la tarde y el resto del día es estable. La tienda Centro al tener dos *peaks* marcados genera que exista una mayor cantidad de sobre dotación en el resto del día.

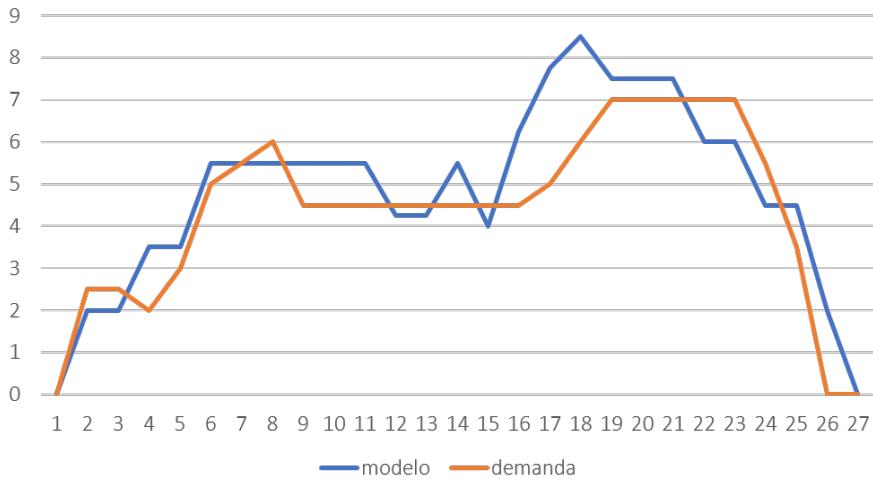


Figura 12.15: Horas requeridas y horas cubiertas con el resultado del modelo, día 3  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo.

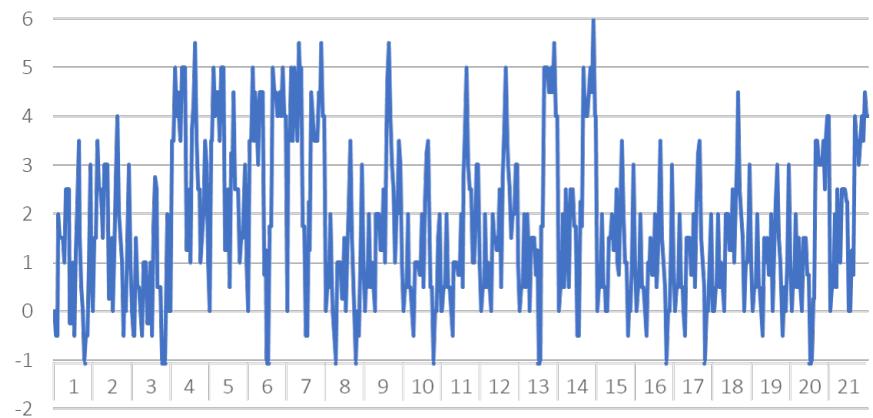


Figura 12.16: Sub/sobre dotación de personal para el evento en tienda Mall  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

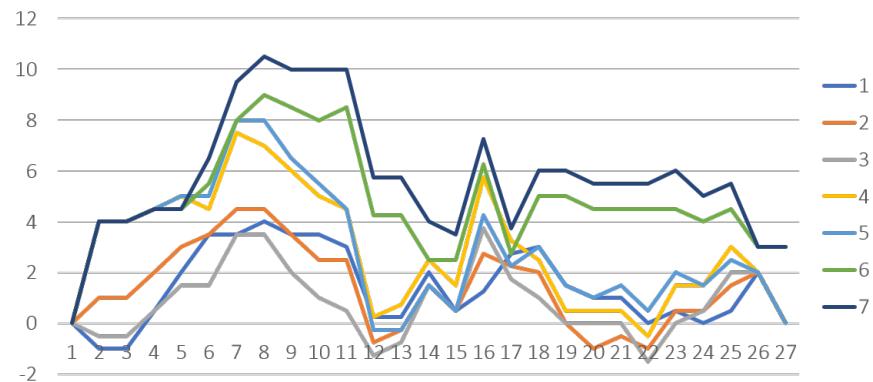


Figura 12.17: Sub/sobre dotación de personal primera semana del evento, tienda Mall  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados del modelo

# Capítulo 13

## Análisis de sensibilidad

Con la finalidad de poder ver como se comportan los modelos ante variaciones de los parámetros y ver la flexibilidad que este puede tener, se realizará un análisis de sensibilidad. Para esto se variarán parámetros y se compararán para de esta forma poder identificar el efecto de estos parámetros en el modelo.

### 13.1. Modelo de dotación base anual

Para ver como se comporta el modelo al variar algunos parámetros se realizará un análisis de sensibilidad en base a los parámetros:

- Nivel de Servicio.
- Costos de Ingreso/Egreso de personal.
- Cantidad de jornadas con ingreso y salida durante el año.

#### 13.1.1. Nivel de Servicio

Cuando se estimó el porcentaje de horas que se debe cumplir cada bloque se utilizó el mayor de ellos (83 %) para de esta forma asegurar siempre el tiempo de espera máximo. Sin embargo, el porcentaje promedio obtenido fue de un 75 %, con desviación estándar de 4 %. Debido a esto, se ejecutarán los modelos con un porcentaje de dotación mínimo de 75 % y 71 %. Cabe mencionar que no se ejecutará un modelo con un porcentaje de 79 % ya que se encuentra muy cercano al 83 % ejecutado que sobre estima en la mayoría de los casos la cantidad de horas a cubrir.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para dichos modelo.

Tal y como se puede apreciar en la tabla a medida que se disminuya el porcentaje mínimo de dotación requerida, se disminuyen los costos y por ende, disminuye la función objetivo.

|          | Mall    |         |       | Centro |       |         |
|----------|---------|---------|-------|--------|-------|---------|
|          | 83 %    | 75 %    | 71 %  | 83 %   | 75 %  | 71 %    |
| Fun Obj  | 7427    | 5837,75 | 5543  | 8987   | 7007  | 6717,25 |
| Oferta   | 24238   | 22802   | 22145 | 26682  | 24379 | 24179   |
| HrsUnder | 153,25  | 290,25  | 364,0 | 181,5  | 475,5 | 479,75  |
| HrsOver  | 6551,75 | 5273,75 | 4679  | 7961   | 5963  | 5793,25 |
| Ahorro   | 43 %    | 46 %    | 48 %  | 29 %   | 35 %  | 36 %    |

Tabla 13.1: Comparación de modelos a diferente porcentaje de dotación mínima

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los modelos

Es por esto también que aumenta el porcentaje de ahorro con respecto a la cantidad total de horas contratadas el año 2018. No obstante esto trae como consecuencia que aumenta la cantidad de horas de sub dotación, la cual pese a aumentar sigue siendo baja, por ejemplo para la tienda Mall al tener como restricción un 71 % se encuentra con una sub dotación al año de 364, al rededor de una hora diaria.

En la Figura 13.1 se muestra la sub/sobre dotación durante el año para el caso actual y para una restricción de 71 %, notando que ambas curvas son muy similares, pero la curva del modelo actual está casi siempre sobre la del modelo a un 71 %.

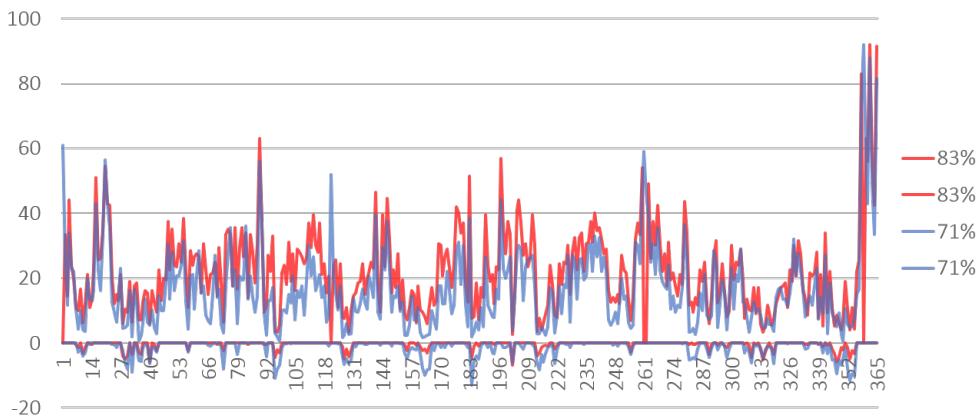


Figura 13.1: Sub/sobre dotación de personal tienda Mall

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los modelos

En el gráfico de la Figura 13.2 se puede ver el promedio durante el año y se observa que la curva a 71 % se ajusta mejor a la curva de demanda, marcando de mejor manera los *peaks* y disminuyendo el tiempo ocioso. Esto puede tener como consecuencia que ante cambios de la demanda se aumente considerablemente el tiempo de espera del cliente al con la dotación tan justa.

Al relajar la restricción de la calidad de servicio se disminuyen los costos y se obtiene una dotación más ajustada a las horas requeridas. Mientras mayor sea el porcentaje de dotación mínima requerido, se tendrá mayor cantidad de tiempo ocioso pero se podrá reaccionar de mejor forma ante cambios en la demanda.

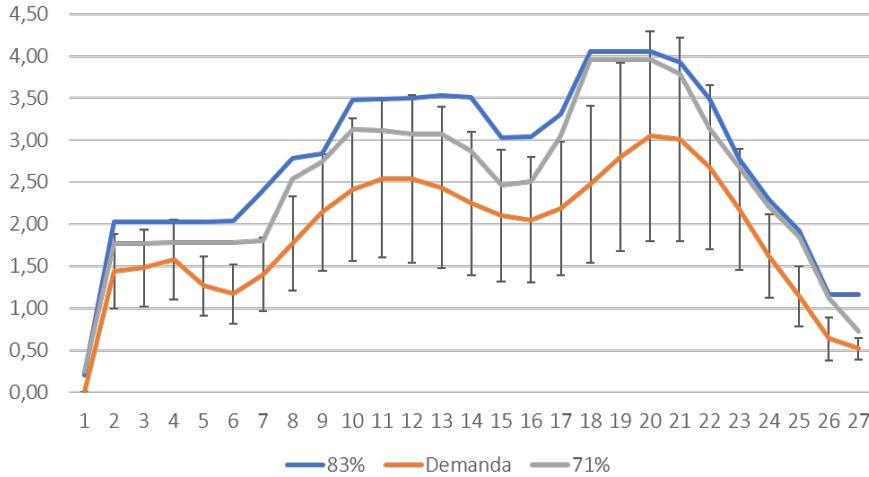


Figura 13.2: Curvas de horas demandadas y ofrecidas con ambos modelos

Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los modelos

### 13.1.2. Cantidad de jornadas con ingreso y salida

Tal y como se mencionó en un principio, se realizó una simplificación del modelo para poder disminuir el tiempo de procesamiento. El modelo actual solamente permite que tres tipos de jornada puedan ingresar y salir durante el año, pero este número se puede ampliar de tal forma de tener mayor flexibilidad de variables a elegir, pero sin incluir todas las jornadas, ya que no se podría ejecutar el modelo.

Se decidió habilitar todas las jornadas de rotación fija para poder ingresar y salir durante el año. No se incluyeron jornadas con rotación de 13 semanas puesto que cada una tiene una dimensionalidad 13 veces mayor que una de rotación fija.

La ejecución de los modelos bajo estas condiciones tomó aproximadamente 3 horas cada uno y la comparación se muestra a continuación.

|          | Mall    |          | Centro |          |
|----------|---------|----------|--------|----------|
|          | Actual  | Flexible | Actual | Flexible |
| Fun Obj  | 7427    | 7035,75  | 8987   | 8692     |
| Oferta   | 24238   | 23769    | 26682  | 26344    |
| HrsUnder | 153,25  | 191,25   | 181,5  | 193,5    |
| HrsOver  | 6551,75 | 6117,75  | 7961   | 7636     |
| Ahorro   | 43 %    | 45 %     | 29 %   | 31 %     |

Tabla 13.2: Comparación de modelo Actual y modelo flexible  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los modelos

El hecho de tener mayor cantidad de opciones para contratar implica primeramente en la función objetivo en donde se puede ver que tanto como para la tienda Mall como para la tienda Centro, la función objetivo es menor en el modelo flexible. Esto se ve reflejado también en la cantidad de horas totales a utilizar, pese a que con el modelo flexible aumentan los momentos

de sub dotación pero sigue siendo bajo.

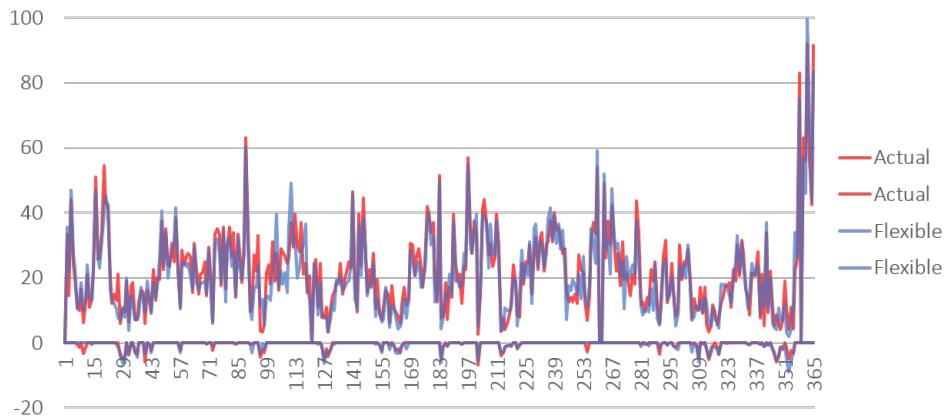


Figura 13.3: Sub/sobre dotación de personal tienda Mall  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los modelos

En la Figura 13.3 se muestra la sub/sobre dotación para la tienda Centro con la utilización del modelo actual y el modelo flexible. Cabe destacar que si bien existe un mejor desempeño en cuanto a la utilización de las horas, el resultado final no dista mucho del realizado con el modelo actual. En la Figura 13.4 se puede ver que ambos modelos son muy parecidos, obteniendo resultados muy similares. Es por esto que se puede concluir que al sólo contar con los 3 tipos de jornada escogidos se obtiene una buena solución y con un tiempo de resolución mucho menor.

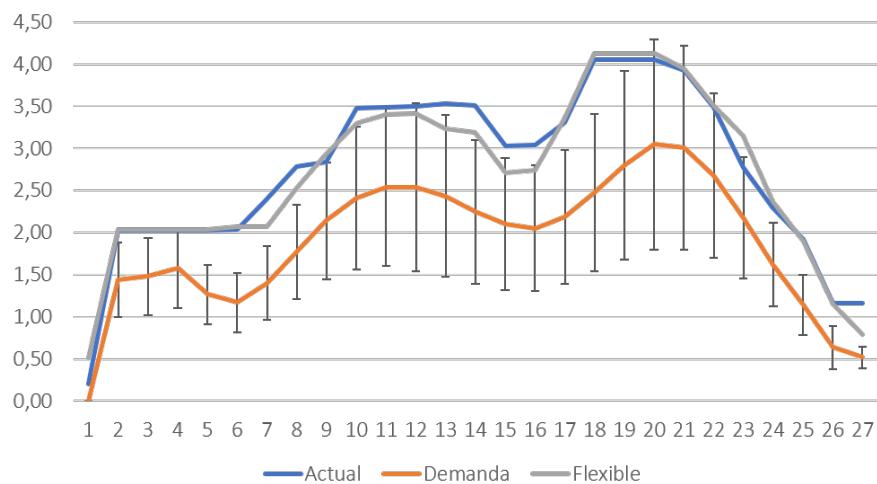


Figura 13.4: Curvas de horas demandadas y ofrecidas con ambos modelos  
Fuente: Elaboración propia en base a los resultados de los modelos

## 13.2. Modelo de dotación para eventos

En el capítulo anterior, al ver los resultados del modelo surgió como idea realizar algunos cambios para mejorar el desempeño. El análisis de sensibilidad que se llevará a cabo, tomará en cuenta las siguientes modificaciones:

- Cambio en el nivel de servicio.
- Habilitar más turnos y configuraciones (días libres).
- Habilitar más días de ingreso y salida.

### 13.2.1. Nivel de servicio

Para el modelo de apoyos se estableció como restricción que se debe cumplir con al menos un 80 % del personal requerido, sin embargo, esta restricción gatilló a que en muy pocos momentos existiera sub dotación por lo que aumentó considerablemente la sobre dotación. Para realizar el análisis de sensibilidad se decidió utilizar tres valores diferentes: 66 %, 70 % y 74 %. Esto debido a que cuando se realizó la estimación de este porcentaje se decidió utilizar el máximo valor (80 %), pero de la muestra el promedio fue 70 % con una desviación estándar de 4 %.

A continuación, se muestran los resultados de la ejecución de los modelos.

|          | Mall |       |      |        | Centro |        |       |      |
|----------|------|-------|------|--------|--------|--------|-------|------|
|          | 80 % | 74 %  | 70 % | 66 %   | 80 %   | 74 %   | 70 %  | 66 % |
| Oferta   | 3150 | 2975  | 2830 | 2715   | 2825   | 2620   | 2520  | 2460 |
| HrsUnder | 27,5 | 44    | 67,5 | 85,75  | 16,5   | 37,25  | 50,5  | 63   |
| HrsOver  | 1016 | 857,5 | 736  | 639,25 | 1134,5 | 950,25 | 863,5 | 816  |
| Ahorro   | 32 % | 36 %  | 39 % | 41 %   | 29 %   | 35 %   | 37 %  | 39 % |

Tabla 13.3: Resultados del análisis de sensibilidad con respecto al nivel de servicio

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

Tal y como muestra la Tabla 13.3 existe un *trade off* entre el ahorro de horas con respecto al presupuesto y el nivel de servicio establecido. Para todos los casos expuestos, incluso con el menor nivel de servicio (66 % o más) en la mayoría de los casos el modelo consume más horas que las requeridas. Algo a tener en cuenta es que al bajar el nivel mínimo, por ejemplo de 74 % a 70 % aumentan las horas de sub dotación, pero disminuyen las horas de sobre dotación en una magnitud mayor (Para el ejemplo las horas de sub dotación aumentaron en 23,5 y las horas de sobre dotación disminuyeron en 121,5) por lo que, dependiendo del caso, podría ser oportuno establecer un nivel de servicio menor.

En la Figura 13.5 se muestra un gráfico con la sub/sobre dotación para la tienda Centro con un 66 % de nivel de servicio mínimo. En la Figura se ve que la mayoría de las veces el modelo consume más horas de las requeridas, estando sub dotado en menores oportunidades y con una magnitud menor. Además, como se muestra en la Figura 13.6 el modelo toma decisiones

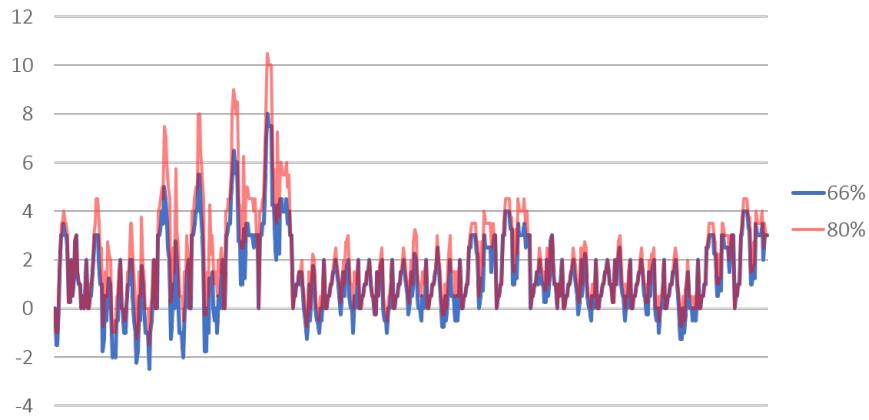


Figura 13.5: Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro para diferentes niveles de servicio  
Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

muy similares, ya que la curva con un 66 % de nivel de servicio mínimo se encuentra siempre por debajo de la curva de 80 %, pero es muy similar.

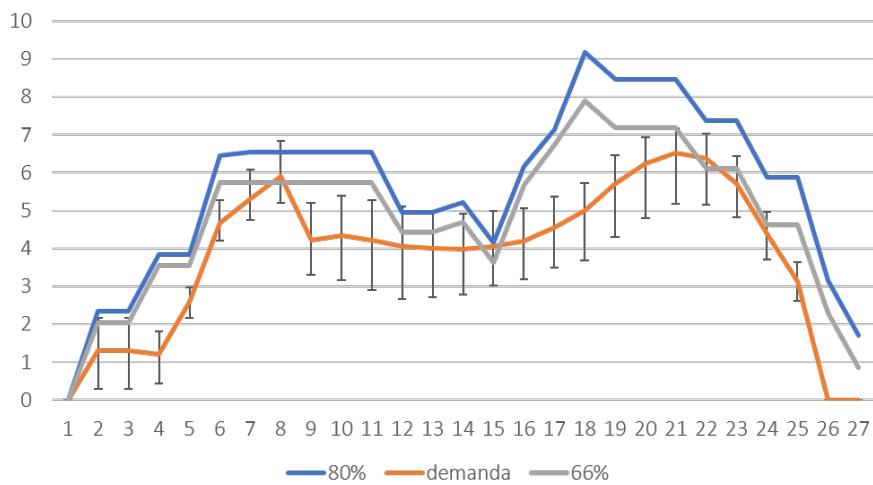


Figura 13.6: Oferta y demanda del modelo a diferentes niveles de servicio, tienda Mall  
Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

### 13.2.2. Nuevas configuraciones posibles

El hecho de tener como opciones sólo lunes o miércoles libre limita al modelo al igual que la cantidad de turnos que hay durante el día. Al agregar más configuraciones y turnos hay mayor posibilidad de elección y por ende, mayor flexibilidad.

Para hacer una comparación con la versión más flexible, se habilitarán todos los días como posibles días libres además, se habilitarán turnos de tal manera que se le pude asignar un turno que puede comenzar cada 30 minutos desde las 8:30 hasta las 17:00.

En la Tabla 13.4 se muestra el resultado del modelo flexible y la comparación del modelo

actual. Es destacable que sólo agregando turnos y días libres adicionales se aumenta considerablemente el ahorro con respecto al presupuesto y esto manteniendo el nivel de servicio mínimo de al menos 80 %.

|          | Mall   |          | Centro |          |
|----------|--------|----------|--------|----------|
|          | Actual | Flexible | Actual | Flexible |
| Oferta   | 3150   | 2830     | 2825   | 2680     |
| HrsUnder | 27,5   | 40       | 16,5   | 14       |
| HrsOver  | 1016   | 708,5    | 1134,5 | 987      |
| Ahorro   | 32 %   | 39 %     | 29 %   | 33 %     |

Tabla 13.4: Resultados modelo flexible y comparación con modelo actual

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

Los errores del modelo disminuyen, por ejemplo para la tienda Centro (Figura 13.7) en donde se aprecia también que el aumento abrupto que ocurría luego del día 3 se controló, sin embargo, se sigue notando un aumento en la sobre dotación de los fines de semana. Esto principalmente porque la demanda durante el fin de semana es mas constante, sin los *peaks* característicos de los días de semana.

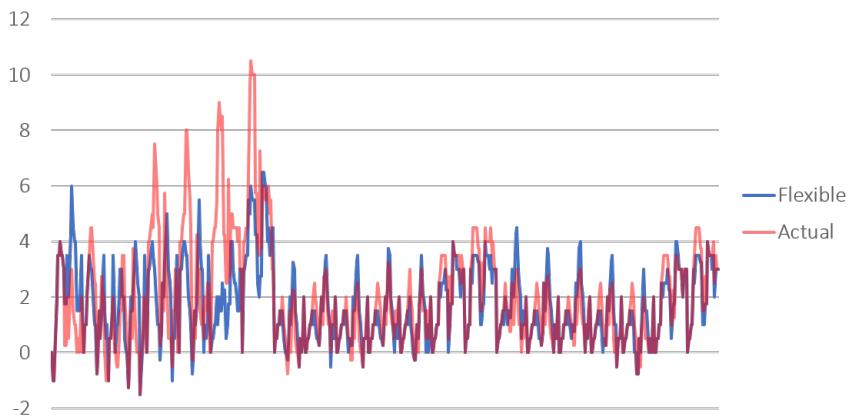


Figura 13.7: Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro, modelo flexible y actual

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

### 13.2.3. Agregar días de ingreso y salida

Debido a que los días de ingreso y salida son sumamente limitados, y que para cada bloque se debe asegurar un mínimo de personal disponible es que para estar preparado para los días más fuertes, existe una sobre dotación los demás días de la semana. Por esto, se crearán dos días más de ingreso y un día extra de salida. El resto de las variables permanecerán como en el modelo original.

A parte de los días de ingreso 1 y 3, también se agregarán los días 7 y 14. Y también se agregará una salida el día 5.

En la Tabla 13.5 se muestran los resultados de esta modificación.

|          | Mall   |          | Centro |          |
|----------|--------|----------|--------|----------|
|          | Actual | Flexible | Actual | Flexible |
| Oferta   | 3150   | 3055     | 2825   | 2605     |
| HrsUnder | 27,5   | 28,5     | 16,5   | 22,5     |
| HrsOver  | 1016   | 922      | 1134,5 | 920,5    |
| Ahorro   | 32 %   | 34 %     | 29 %   | 35 %     |

Tabla 13.5: Comparación modelo con más días de ingreso y salida

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

En este caso, cabe mencionar que la única mejora aparente con respecto al modelo actual es que ya no existe un alza abrupta en la sobre dotación los días 6 y 7 (Figura 13.8), lo cuál se debe al día de salida agregado en el día 5. En el resto no se observan cambios relevantes, por lo que los días de ingreso agregados no afectan tanto como el día de salida agregado.

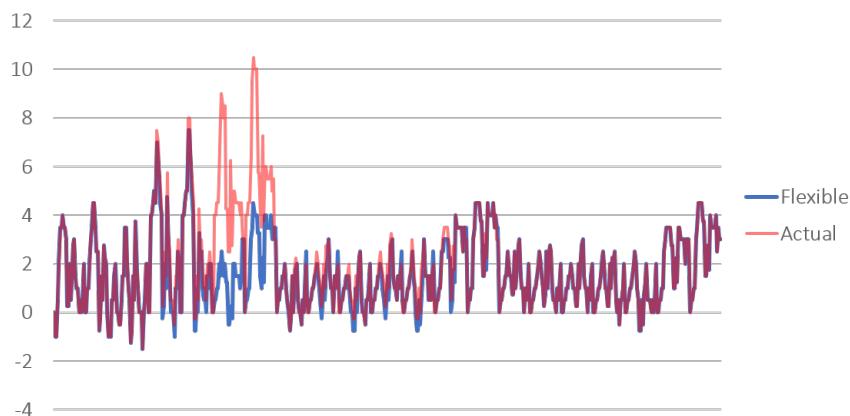


Figura 13.8: Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro, modelo flexible y actual

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

### 13.2.4. Ensamble

Para terminar, se realizará una comparación con un modelo que combina los cambios realizados anteriormente. Este modelo se le denominará Ensamble y es un modelo que tiene como restricción de nivel de servicio mínimo un 70 % de las horas requeridas y además, es flexible ya que agrega las configuraciones de turnos y días libres además de habilitar días de ingreso y salida.

En la Tabla 13.6 se muestra la comparación de este modelo con el modelo original. Se puede ver que el modelo ensamble permite ahorrar muchas más horas que el modelo original, sin embargo, también existe una mayor cantidad de sub dotación. En la figura 13.9 se muestra el promedio durante el día de los modelos en el evento, y se puede apreciar que si bien la curva del modelo Ensamble se ajusta mejor a la curva de horas requeridas, también al estar cercana a esta curva, existe una mayor probabilidad de encontrarse sub dotado.

|          | Mall   |          | Centro |          |
|----------|--------|----------|--------|----------|
|          | Actual | Ensamble | Actual | Ensamble |
| Oferta   | 3150   | 2555     | 2825   | 2305     |
| HrsUnder | 27,5   | 93,25    | 16,5   | 52,25    |
| HrsOver  | 1016   | 486,75   | 1134,5 | 650,25   |
| Ahorro   | 32 %   | 45 %     | 29 %   | 42 %     |

Tabla 13.6: Comparación de modelo actual con modelo Ensamble

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

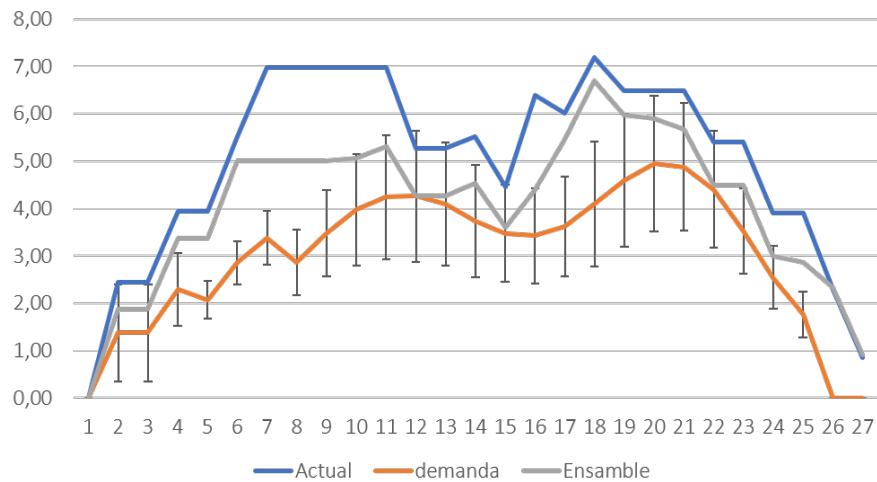


Figura 13.9: Sub/sobre dotación del modelo tienda Centro, modelo flexible y actual

Fuente: Elaboración propia en base a resultados del modelo

# Capítulo 14

## Interfaz de modelo para eventos

Tal y como se ha mencionado a lo largo de esta memoria, para los eventos se tiene una mayor certeza de las unidades a entregar poco tiempo antes del evento y es por eso que uno o dos meses previo al evento se realiza la planificación de este. Teniendo esto en consideración, el modelo de dotación de apoyos para eventos deberá ser ejecutado durante al menos dos veces en el año (correspondiente a los eventos CyberDay, CyberMonday y Navidad).

Con la finalidad, de que sea posible para la empresa ejecutar el modelo con los diferentes parámetros de cada evento de una forma fácil e intuitiva, es que se realiza la creación de un interfaz simple mediante el cual sea posible generar y ejecutar el modelo de dotación para eventos. En este capítulo se describe los pasos a seguir para la realización de este interfaz.

### 14.1. Herramientas a utilizar

Para la creación del interfaz se decidió utilizar las herramientas que se mencionan a continuación:

- NEOS Server: para la resolución de problema modelado, tal y como se mencionó en la sección de resultados, se utilizó NEOS Server, ya que provee de la mayoría de los solvers del mercado de forma gratuita, en particular el solver CPLEX utilizado para la resolución de problemas de programación entera. Además, los problemas son resueltos en máquinas distribuidas de alto rendimiento habilitadas por el software HTCondor, por lo que los problemas son resueltos en menor tiempo que en un computador de escritorio estándar. También se eligió porque recibe problemas escritos en lenguaje AMPL que es bastante simple y similar a la formulación matemática. Y finalmente, porque NEOS provee de una API<sup>1</sup> a la cual se puede acceder mediante los lenguajes Python y Java, y sólo es necesario entregarle el problema en un archivo XML.
- Python: para poder utilizar la API de NEOS Server, se decidió utilizar Python ya que

---

<sup>1</sup>*Application Programming Interface*. Conjunto de rutinas que provee acceso a funciones de un determinado software. Fuente: Wikipedia.

es de una sintaxis más sencilla que Java. La función de Python será conectarse con NEOS y entregarle el modelo escrito en un archivo XML.

- Excel: será utilizado para la creación del interfaz en donde se ingresarán los parámetros del modelo de una forma intuitiva, ya sea mediante formularios o directamente en planillas según corresponda. Se decidió utilizar Excel porque es una herramienta ampliamente usada en la gerencia de operaciones, por lo que es de fácil manipulación para los usuarios finales, además por medio de macros (programando en *Visual Basic For Applications*) se puede simplificar más aún el ingreso de datos. Una vez ingresados los parámetros por el usuario, se generará el archivo XML.

En la Figura 14.1 se muestran las herramientas utilizadas para la creación del interfaz. En primer lugar se muestra Excel, que es donde se debe ingresar la información relevante al modelo como días del evento, días de ingreso y salida, turnos y rotaciones disponibles, etc. Una vez ingresados los parámetros, mediante un botón creado con macros se genera el archivo XML que contiene el modelo e inmediatamente después ejecuta un script de Python que tiene como finalidad tomar el archivo XML recién generado y enviarlo al NEOS Server para que resuelva el problema. Finalmente, una vez resuelto el problema, se envía la respuesta al correo previamente ingresado en Excel.

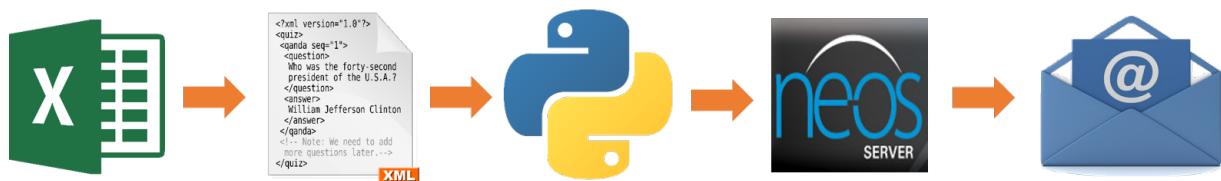


Figura 14.1: Diagrama del flujo de trabajo del interfaz

## 14.2. Diseño del interfaz

Como se mencionó anteriormente el diseño del interfaz se realizó en Excel. Se realizaron botones con macros para definir cada una de las funcionalidades. En la Figura 14.2 se muestra los botones del menú del interfaz enumerados por el orden en que se deben ejecutar.

Al presionar el primer botón se abre la hoja que se muestra en la figura 14.3 en donde se tienen cuatro funcionalidades: se puede cambiar la duración del evento (desde/hasta), agregar días de ingreso o salida de personal y volver al menú.

El segundo botón del menú abre la hoja que se muestra en la Figura 14.4 en donde se debe establecer la dotación actual de la tienda. Se tiene un botón para limpiar los datos que se muestran y otro botón que permite agregar una persona (con su respectiva jornada, turno y semana de rotación).

El tercer botón del menú es para editar turnos disponibles que se pueden agregar manualmente de la forma en que se marque con un 1 los bloques que puede estar presente y con un 0 los que no (ver Figura 14.5). Además, se pueden definir las configuraciones posibles



Figura 14.2: Menú del interfaz

estableciendo los días que pueden ser libres como se muestra en la Figura 14.6 en donde se establecen dos configuraciones posibles: de lunes libre y de miércoles libre.

Luego, se tiene el botón para establecer demanda. En donde habrá que ingresar en la planilla la demanda (en términos de horas persona requeridas) para cada día y bloque horario del evento. En la Figura 14.7 se muestra un ejemplo de cómo se debe ingresar la demanda como una matriz en donde las filas representan los días del evento y las columnas los bloques horarios.

El quinto botón abre una ventana como la que se muestra en la Figura 14.8 y se debe seleccionar la tienda que se está modelando en primer lugar (esto sólo porque dependiendo de la tienda las jornadas tienen más o menos horario de almuerzo). Se debe ingresar el presupuesto asignado a la tienda para el evento que es una restricción del modelo. También, se debe ingresar el nivel de servicio mínimo como un porcentaje (se recomienda el 80% calculado mediante simulaciones). Y finalmente, se debe ingresar un correo electrónico al cual se enviarán los resultados. Al presionar ACEPTAR, se crear el archivo XML con el modelo y se ejecuta el script de Python que toma el modelo y se lo entrega a NEOS Server para resolverlo.

Finalmente, existe un botón para poder interpretar el output del modelo. Sólo se necesita pegar el resultado que llega al correo donde se indica y presionar el botón Interpretar Output. Esto hará que se abra un nuevo archivo Excel que muestra para cada día las personas que deben haber presentes y a qué hora comienza su turno (Figura 14.9).

| dia        | dia_sem   | n  | INGRESO | SALIDA |                  |
|------------|-----------|----|---------|--------|------------------|
| 27-05-2019 | lunes     | 1  | 1       | 0      | CAMBIAR DURACIÓN |
| 28-05-2019 | martes    | 2  | 0       | 0      |                  |
| 29-05-2019 | miércoles | 3  | 1       | 0      |                  |
| 30-05-2019 | jueves    | 4  | 0       | 0      | AGREGAR INGRESO  |
| 31-05-2019 | viernes   | 5  | 0       | 0      |                  |
| 01-06-2019 | sábado    | 6  | 0       | 0      |                  |
| 02-06-2019 | domingo   | 7  | 0       | 0      | AGREGAR SALIDA   |
| 03-06-2019 | lunes     | 8  | 0       | 1      |                  |
| 04-06-2019 | martes    | 9  | 0       | 0      |                  |
| 05-06-2019 | miércoles | 10 | 0       | 0      | VOLVER AL MENÚ   |
| 06-06-2019 | jueves    | 11 | 0       | 0      |                  |
| 07-06-2019 | viernes   | 12 | 0       | 0      |                  |
| 08-06-2019 | sábado    | 13 | 0       | 0      |                  |
| 09-06-2019 | domingo   | 14 | 0       | 0      |                  |
| 10-06-2019 | lunes     | 15 | 0       | 1      |                  |
| 11-06-2019 | martes    | 16 | 0       | 0      |                  |
| 12-06-2019 | miércoles | 17 | 0       | 0      |                  |
| 13-06-2019 | jueves    | 18 | 0       | 0      |                  |
| 14-06-2019 | viernes   | 19 | 0       | 0      |                  |
| 15-06-2019 | sábado    | 20 | 0       | 0      |                  |
| 16-06-2019 | domingo   | 21 | 0       | 0      |                  |

Figura 14.3: Establecer días del evento

| Tipo Jornada  | Horas Semanales | Rotación        | Semana | Hora Inicio |                 |
|---------------|-----------------|-----------------|--------|-------------|-----------------|
| Media Jornada | 30              | Lunes a Viernes | 1      | 15:00       | LIMPIAR         |
| Media Jornada | 30              | Lunes a Viernes | 1      | 15:00       |                 |
| Media Jornada | 30              | Lunes a Viernes | 1      | 15:00       |                 |
| Media Jornada | 30              | Lunes a Viernes | 1      | 15:00       |                 |
| Full Time     | 45              | Lunes a Viernes | 1      | 09:00       | AGREGAR PERSONA |
| Full Time     | 45              | Lunes a Viernes | 1      | 09:00       |                 |
| Full Time     | 45              | Lunes a Viernes | 1      | 09:00       |                 |
| Full Time     | 45              | Lunes a Viernes | 1      | 10:00       | VOLVER AL MENÚ  |
| Full Time     | 45              | Lunes a Viernes | 1      | 10:00       |                 |
| Full Time     | 45              | Lunes a Viernes | 1      | 10:00       |                 |
| Media Jornada | 30              | Lunes a Viernes | 1      | 11:00       |                 |
| Media Jornada | 30              | Lunes a Viernes | 1      | 11:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Viernes Sábado  | 1      | 11:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 09:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 09:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 09:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 10:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 10:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 10:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 10:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 11:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 11:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 11:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 11:00       |                 |
| Part Time     | 20              | Sábado Domingo  | 1      | 11:00       |                 |

Figura 14.4: Establecer dotación actual de la tienda

| 08:30 | 09:00 | 09:30 | 10:00 | 10:30 | 11:00 | 11:30 | 12:00 | 12:30 | 13:00 | 13:30 | 14:00 | 14:30 | 15:00 | 15:30 | 16:00 | 16:30 | 17:00 | 17:30 | 18:00 | 18:30 | 19:00 | 19:30 | 20:00 | 20:30 | 21:00 | 21:30 |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0     |
| 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |

Figura 14.5: Establecer turnos disponibles

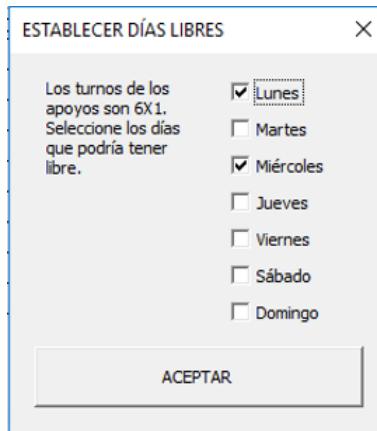


Figura 14.6: Establecer posibles días libres

| 1  | 0 | 5 | 5 | 5   | 3.5 | 3.5 | 3.5 | 2.5 | 3   | 4.5 | 5    | 5    | 4.5  | 3   | 3   | 2.5 | 3   | 3.5 | 5.5  | 6    | 6    | 5.5  | 4   | 3   | 1.5 | 0   | 0 |   |
|----|---|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|---|---|
| 2  | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 2.5 | 3.5 | 4   | 4   | 5.5 | 8.5 | 9    | 9    | 8.5  | 5.5 | 5   | 5   | 5.5 | 6.5 | 10.5 | 11.5 | 11.5 | 10   | 7   | 4.5 | 2   | 0   | 0 |   |
| 3  | 0 | 3 | 3 | 3.5 | 2.5 | 4   | 5   | 5.5 | 7   | 11  | 12   | 12   | 11.5 | 7.5 | 6.5 | 6.5 | 7   | 9   | 13   | 13.5 | 13.5 | 13   | 9.5 | 6   | 3   | 0   | 0 |   |
| 4  | 0 | 1 | 1 | 2   | 1.5 | 3   | 4   | 4.5 | 6   | 9.5 | 10.5 | 10.5 | 10   | 6.5 | 6   | 5.5 | 6   | 7.5 | 12.5 | 13   | 13   | 11.5 | 8.5 | 5.5 | 2   | 0   | 0 |   |
| 5  | 0 | 1 | 1 | 2   | 1.5 | 2.5 | 3.5 | 3.5 | 5   | 9   | 10.5 | 11   | 11   | 8   | 7.5 | 7   | 7   | 7.5 | 11   | 11   | 10.5 | 9.5  | 7.5 | 5.5 | 3   | 0   | 0 |   |
| 6  | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 4   | 4.5 | 4   | 4.5 | 4.5 | 4    | 4    | 4    | 4   | 4   | 4   | 4   | 4   | 4    | 4    | 4    | 4.5  | 4   | 3.5 | 2.5 | 0   | 0 |   |
| 7  | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3.5 | 2.5 | 3   | 3   | 2.5  | 2.5  | 2.5  | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 3   | 3    | 3    | 3.5  | 3    | 3   | 2.5 | 2   | 0   | 0 |   |
| 8  | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3.5 | 3   | 4   | 6.5 | 7    | 7    | 6.5  | 4.5 | 4   | 4   | 4   | 5   | 8.5  | 9    | 7.5  | 5.5  | 3.5 | 1.5 | 0   | 0   | 0 |   |
| 9  | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3.5 | 3   | 3.5 | 6   | 6.5  | 6.5  | 6    | 4   | 3.5 | 3.5 | 4   | 4.5 | 7.5  | 8.5  | 8    | 7    | 5   | 3.5 | 1.5 | 0   | 0 |   |
| 10 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3.5 | 3   | 4   | 6.5 | 7    | 7    | 6.5  | 4   | 4   | 3.5 | 4   | 5   | 8    | 9    | 8.5  | 7.5  | 5.5 | 3.5 | 1.5 | 0   | 0 |   |
| 11 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3.5 | 3   | 3.5 | 6   | 6.5  | 6.5  | 6    | 4   | 3.5 | 3.5 | 4   | 4.5 | 7.5  | 8    | 8    | 7    | 5   | 3   | 1.5 | 0   | 0 |   |
| 12 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 2.5 | 3   | 2.5 | 3.5 | 6   | 7    | 7.5  | 7.5  | 5.5 | 5   | 4.5 | 4.5 | 5   | 7.5  | 7.5  | 7    | 6.5  | 5   | 3.5 | 2   | 0   | 0 |   |
| 13 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3.5 | 4   | 3   | 3.5 | 3.5 | 3.5  | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3    | 3.5  | 3.5  | 3    | 2.5 | 2   | 0   | 0   | 0 |   |
| 14 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3   | 2   | 2.5 | 2.5 | 2.5  | 2.5  | 2    | 2   | 2   | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5  | 2.5  | 2.5  | 3    | 3   | 2.5 | 2   | 1.5 | 0 | 0 |
| 15 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 2.5 | 3   | 2.5 | 3   | 4.5 | 5    | 5    | 4.5  | 3   | 3   | 3   | 3   | 3.5 | 6    | 6.5  | 6.5  | 5.5  | 4   | 2.5 | 1   | 0   | 0 |   |
| 16 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 2.5 | 3.5 | 3   | 3.5 | 5.5 | 6    | 6    | 5.5  | 4   | 3.5 | 3.5 | 4.5 | 7.5 | 8    | 8    | 6.5  | 5    | 3   | 1.5 | 0   | 0   | 0 |   |
| 17 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 2.5 | 3   | 2.5 | 3.5 | 5.5 | 6    | 6    | 5.5  | 3.5 | 3   | 3   | 3.5 | 4   | 7    | 7.5  | 7.5  | 6.5  | 4.5 | 3   | 1.5 | 0   | 0 |   |
| 18 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3.5 | 3   | 4   | 6   | 6.5  | 6.5  | 6    | 4   | 3.5 | 3.5 | 4   | 5   | 8    | 8.5  | 8.5  | 7    | 5   | 3.5 | 1.5 | 0   | 0 |   |
| 19 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 2.5 | 3   | 2.5 | 3.5 | 6.5 | 7.5  | 8    | 8    | 5.5 | 5.5 | 5   | 5   | 5.5 | 8    | 8    | 7.5  | 7    | 5.5 | 4   | 2   | 0   | 0 |   |
| 20 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3.5 | 4   | 3   | 3.5 | 3.5 | 3.5  | 3    | 3    | 3   | 3   | 3   | 3   | 3   | 3    | 3    | 3.5  | 3.5  | 3   | 2.5 | 2   | 0   | 0 |   |
| 21 | 0 | 1 | 1 | 2   | 2   | 3   | 3   | 2   | 2.5 | 2.5 | 2.5  | 2    | 2    | 2   | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5 | 2.5  | 3    | 3    | 3    | 2.5 | 2   | 1.5 | 0   | 0 |   |

Figura 14.7: Establecer posibles días libres

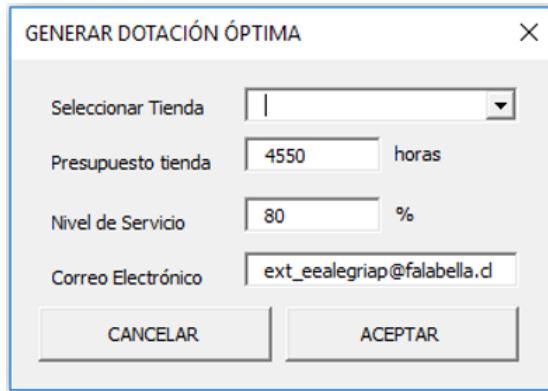


Figura 14.8: Establecer posibles días libres

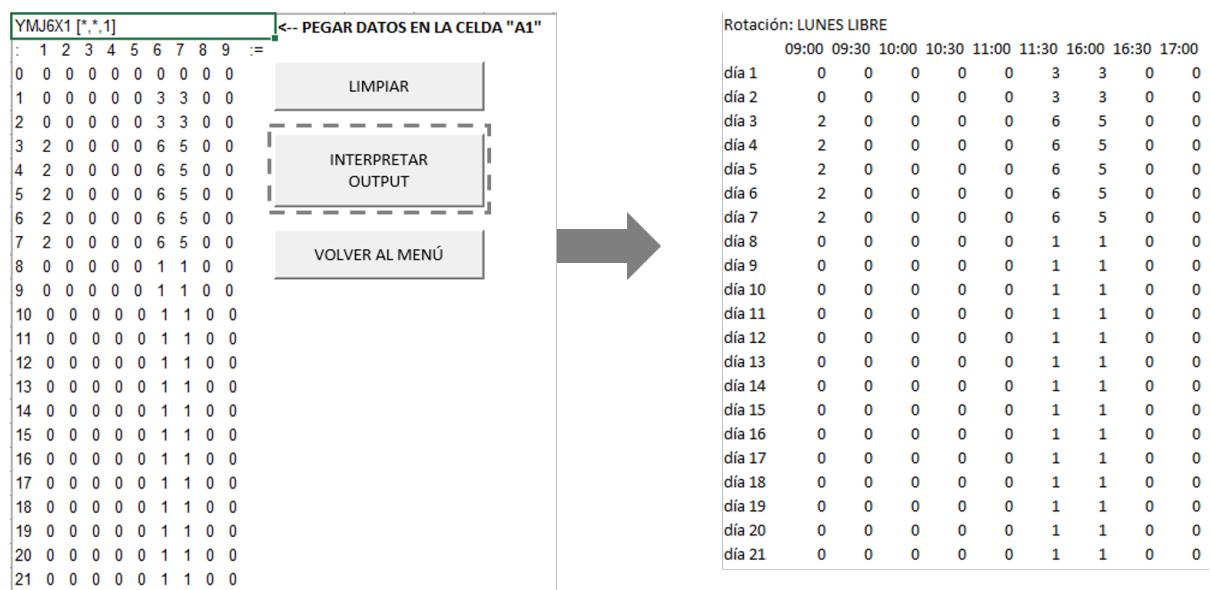


Figura 14.9: Establecer posibles días libres

# Capítulo 15

## Recomendaciones

Dentro del trabajo desarrollado en esta memoria, existen espacios de mejora para trabajos futuros que se mencionan a continuación.

En primer lugar, en la recolección de información. En este trabajo se estimaron tiempos promedios en base a observaciones en un periodo determinado. Por el riesgo a que exista sesgo por la fecha en la cual se levantó la información o por las tiendas en las cuales se realizó, se recomienda medir tiempos en diferentes épocas del año en donde exista mayor o menor demanda, ya que las personas trabajan diferente según la situación en que se encuentran.

Luego, con respecto a la encuesta realizada para encontrar la disposición máxima a esperar por parte de los clientes, se podría realizar nuevamente por parte de la empresa con una muestra más representativa, puesto los resultados de la que se realizó en este trabajo podría encontrarse sesgada, dado los medios por los cuales se difundió. Al ver la distribución etaria y de género se puede inferir que probablemente la muestra no es representativa.

Otra recomendación para una mayor confianza del modelo sería realizar una predicción de demanda que tomara en consideración la estocasticidad de esta, ya que considerar una demanda determinística es en parte ingenuo y podría traer consecuencias en la calidad del servicio cambios inesperados en la demanda.

Con respecto a los modelos realizados se recomienda establecer reglas de negocio en las tiendas y establecer posibles horarios de colación, para que de esta forma se tenga mayor certeza y el modelo pueda decidir en qué horario a trabajar a cada trabajador. Un modelo más complejo podría contemplar también el absentismo laboral que es una variable estocástica que podría influir en la implementación del modelo.

Finalmente, haciendo referencia interfaz realizado, una mejora posible sería realizarlo como una aplicación web o de escritorio utilizando Python, por ejemplo como sus *frameworks* Django o Flask, de manera de integrar el interfaz con la API de NEOS Server, o bien si se cuenta con licencia del *solver* Gurobi, se podría programar el modelo directamente en Pyhton. Además, se recomienda modificar la forma en que se establecen parámetros como por ejemplo la demanda, que se realiza de forma manual.

# Conclusión

En este trabajo de memoria se desarrollaron modelos de optimización para encontrar la configuración óptima de jornadas y turnos de los puntos de retiro en tienda de Falabella Retail.

Para la elaboración de los modelos fue necesario comprender en primera instancia cómo funcionaba el *click and collect* de Falabella retail, los procesos y tareas involucradas. Fue necesario también estimar tiempos promedios, y encontrar la forma de establecer un nivel de servicio mínimo que debiese cumplir el modelo.

A la hora de realizar un modelo y considerar sus resultados es necesario realizar un análisis e inspección de estos, ya que muchas veces el modelo entregará resultados que no son posibles operacionalmente. Siempre hay que tener en mente que el trabajo que se está realizando teóricamente tiene que llevarse a cabo en el futuro y para eso se necesitan resultados operacionalmente implementables.

Con respecto a los resultados entregados por el modelo, se puede mencionar que el modelo de dotación anual cumple con entregar una solución con menor cantidad de horas que el presupuesto y las horas reales ocupadas durante el año 2018. Un problema presentado fue la incapacidad de ejecutar el modelo original, por el alto consumo de recursos, sin embargo, al acotar la cantidad de variables de decisión se logró obtener un resultado bueno y a bajo costo. De hecho, al agregar mayor cantidad de variables de decisión el resultado mejoró poco con respecto a la cantidad de tiempo que tomó la ejecución del modelo.

Tomando en cuenta el resultado del modelo de contratación de apoyos, se llegó a un resultado favorable que consume considerablemente menos cantidad de hora para cumplir con las tareas requeridas. Además para mejorar el desempeño del modelo es una buena idea flexibilizar las jornadas agregando mayor cantidad de días libres posibles, turnos, días de ingreso y egreso de personal, entre otros.

Adicional a lo mencionado anteriormente, se concluye que los modelos realizados en este trabajo cumplen con el objetivo de la memoria de reducir la cantidad de horas persona contratadas y sin descuidar la calidad del servicio. Esto último mediante una restricción de dotación mínima que permite atender a las personas antes de un tiempo de espera determinado.

# Bibliografía

- [1] Slim Abdennadher and Hans Schlenker. Nurse scheduling using constraint logic programming. In *AAAI/IAAI*, pages 838–843, 1999.
- [2] RI Barrera. An application of a genetic algorithm to retail staff scheduling. *Memoria Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile*, 2011.
- [3] RI Barrera. Diseño de un modelo de optimización de turnos para cajeros. *Memoria Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Chile*, 2011.
- [4] Norbert Beck and David Rygl. Categorization of multiple channel retailing in multi-, cross-, and omni-channel retailing for retailers and retailing. *Journal of Retailing and Consumer Services*, 27:170–178, 2015.
- [5] Sandrine Cadenat, Audrey Bonnemaizon, Florence Benoît-Moreau, and Valérie Renaudin. Regards sur la co-production du client: comment les entreprises nous font-elles participer? *Décisions Marketing*, pages 9–24, 2013.
- [6] Cyril Canon. *Personnel scheduling in the call center industry*. PhD thesis, Springer, 2007.
- [7] Cencosud. Memoria anual. 2018.
- [8] Nicolas Chapados, Marc Joliveau, and Louis-Martin Rousseau. Retail store workforce scheduling by expected operating income maximization. In *International Conference on AI and OR Techniques in Constraint Programming for Combinatorial Optimization Problems*, pages 53–58. Springer, 2011.
- [9] Rodolfo Cuevas, Juan-Carlos Ferrer, Mathias Klapp, and Juan-Carlos Muñoz. A mixed integer programming approach to multi-skilled workforce scheduling. *Journal of Scheduling*, 19(1):91–106, 2016.
- [10] Andreas T Ernst, Houyuan Jiang, Mohan Krishnamoorthy, and David Sier. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European journal of operational research*, 153(1):3–27, 2004.
- [11] S.A.C.I. Falabella. Memoria anual. 2018.
- [12] César Augusto Henao, Juan Carlos Muñoz, and Juan Carlos Ferrer. The impact of multi-

skilling on personnel scheduling in the service sector: a retail industry case. *Journal of the Operational Research Society*, 66(12):1949–1959, 2015.

- [13] Magali Jara, Dany Vyt, Olivier Mevel, Thierry Morvan, and Nélida Morvan. Measuring customers benefits of click and collect. *Journal of Services Marketing*, 32(4):430–442, 2018.
- [14] Ruben Lagatie, Stefaan Haspeslagh, and Patrick De Causmaecker. Negotiation protocols for distributed nurse rostering. In *Proceedings of the 21st Benelux Conference on Artificial Intelligence*, pages 145–152, 2009.
- [15] D. V. Lindley. The theory of queues with a single server. *Mathematical Proceedings of the Cambridge Philosophical Society*, 48(2):277–289, 1952.
- [16] Carolina Andrea Matamala Ureta. Asignación y calendarización de la fuerza de venta para un retailer especialista. 2012.
- [17] Nielsen. 6 tiendencias del retail en américa latina. pages 384–391. Springer, 2010.
- [18] Volker Nissen and Maik Günther. Automatic generation of optimised working time models in personnel planning. In *International Conference on Swarm Intelligence*, 2015.
- [19] La Polar. Memoria anual. 2018.
- [20] Alfredo José María Prieto Benavente. Diseño metodológico para el dimensionamiento y asignación de personal de tiendas en falabella retail sa. 2013.
- [21] Frederick F Reichheld. The one number you need to grow. *Harvard business review*, 81(12):46–55, 2003.
- [22] María Reyes. Modelo de optimización de personal para una tienda por departamento.
- [23] Darrell Rigby. The future of shopping. *Harvard business review*, 89(12):65–76, 2011.
- [24] Ripley. Memoria anual. 2018.
- [25] Rocco Rocco and Adolfo Antonio. Metodología heurística para resolver asignación de turnos en una farmacia y búsqueda de cotas del problema. 2015.
- [26] Saga Falabella S.A. Informe anual. 2017.
- [27] Oliver W Wight. Production and inventory management in the computer age. Technical report, 1974.

# Anexos

## A: *Click and Collect*



Figura 15.1: Imagen referencial de un punto de retiro en tienda

Fuente: Falabella.com

## B: Diagramas de flujo

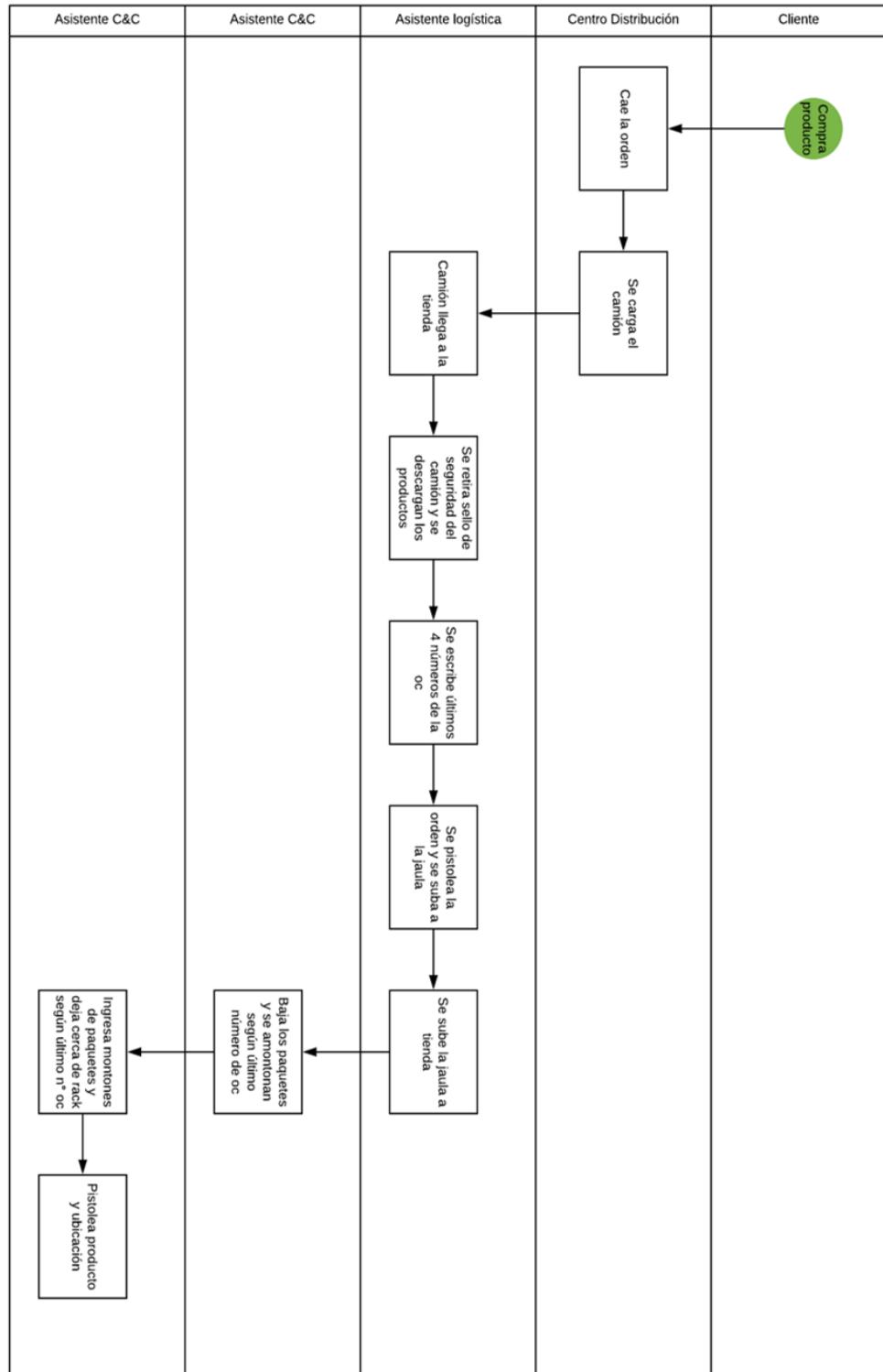


Figura 15.2: Diagrama de flujo del proceso de recepción de productos  
 Fuente: Elaboración propia

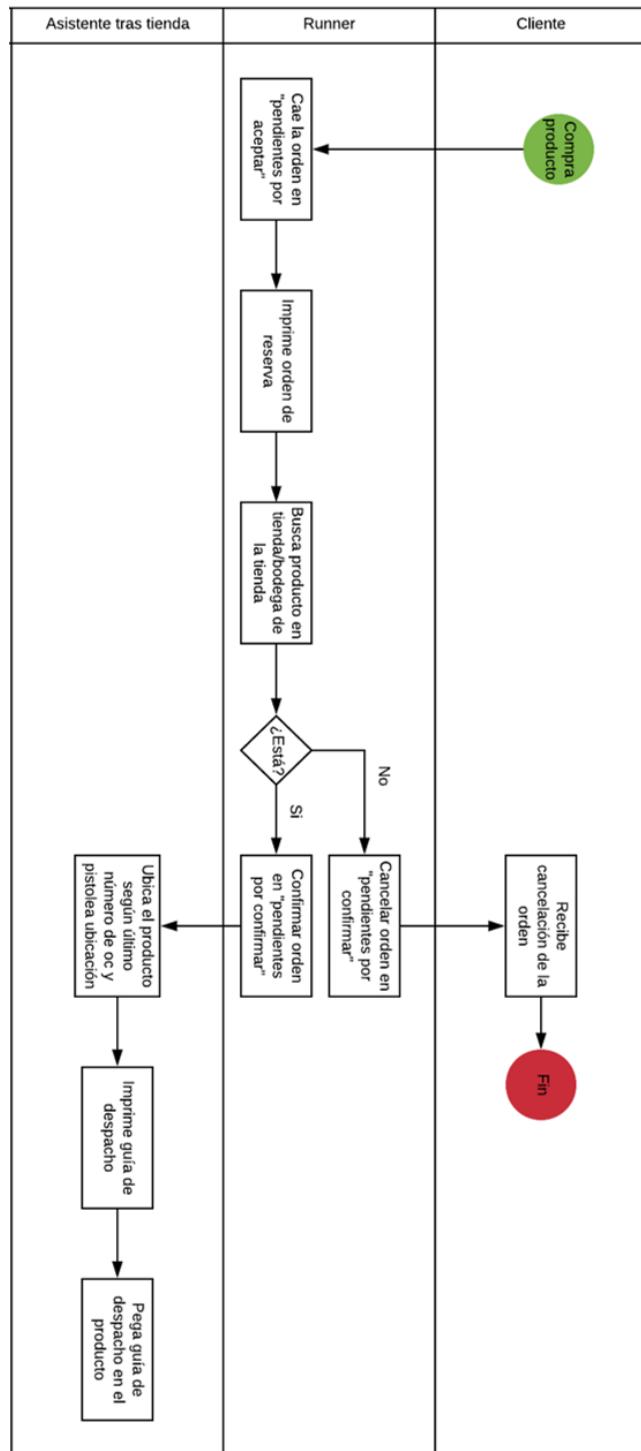


Figura 15.3: Diagrama de flujo del proceso de reserva y confirmación de productos  
 Fuente: Elaboración propia

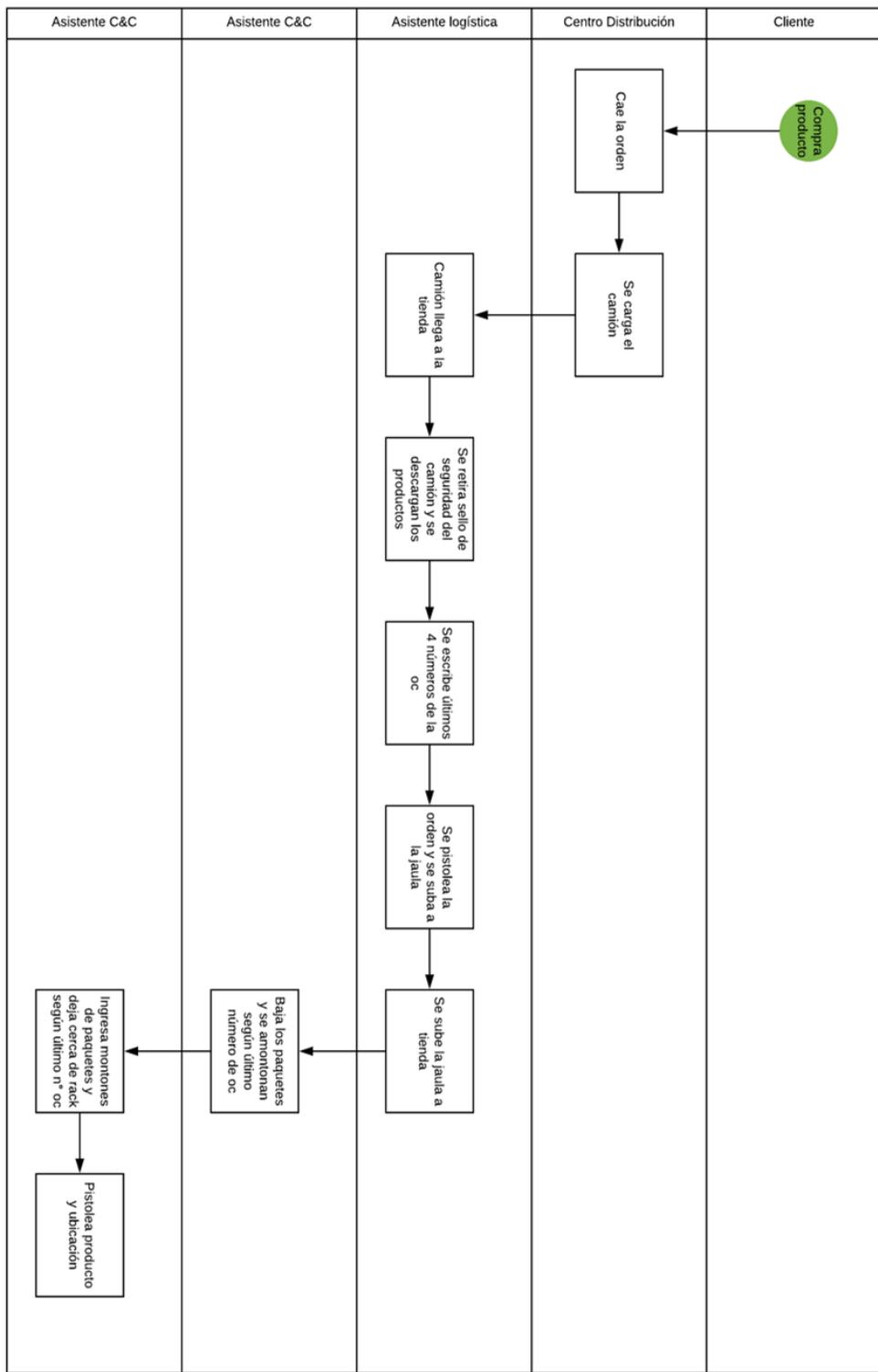


Figura 15.4: Diagrama de flujo del proceso de entrega de productos  
 Fuente: Elaboración propia

## C: Encuesta

1. ¿Cuántos años tienes?
  2. ¿Con qué género te identificas?
    - Femenino
    - Masculino
    - Otro
  3. En el último año ¿cuántos productos has comprado por internet?
  4. En el último año ¿cuántos productos has comprado por internet con retiro en tienda?
- SITUACIÓN 1:** Supongamos que compraste un producto por internet con retiro en tienda un día cualquiera.
5. Al momento de ir a buscar el producto ¿Cuál es el máximo de tiempo que estás dispuesto a esperar sin sentirte molesto?
  6. En caso de que has esperado más del tiempo contemplado y aún no te atienden:
    - Espero a que me entreguen el producto
    - Me voy y vuelvo otro día a retirarlo
    - Cancelo la compra

**SITUACIÓN 2:** Supongamos ahora que compraste un producto en el CyberDay a un precio muy conveniente.  
(Se repiten las preguntas 5 y 6 bajo esta situación)

## D: Resultados simulación

| Lambda | Mod. Ideales | Mod. Normal | Mod. Cyber | % Mod. Normal | %Mod. Cyber |
|--------|--------------|-------------|------------|---------------|-------------|
| 1      | 4            | 3           | 3          | 75 %          | 75 %        |
| 1,1    | 5            | 4           | 3          | 80 %          | 60 %        |
| 1,2    | 5            | 4           | 4          | 80 %          | 80 %        |
| 1,3    | 6            | 4           | 4          | 67 %          | 67 %        |
| 1,4    | 6            | 5           | 4          | 83 %          | 67 %        |
| 1,5    | 6            | 5           | 4          | 83 %          | 67 %        |
| 1,6    | 7            | 5           | 5          | 71 %          | 71 %        |
| 1,7    | 7            | 5           | 5          | 71 %          | 71 %        |
| 1,8    | 8            | 6           | 5          | 75 %          | 63 %        |
| 1,9    | 8            | 6           | 6          | 75 %          | 75 %        |
| 2      | 8            | 6           | 6          | 75 %          | 75 %        |
| 2,1    | 9            | 7           | 6          | 78 %          | 67 %        |
| 2,2    | 9            | 7           | 6          | 78 %          | 67 %        |
| 2,3    | 9            | 7           | 7          | 78 %          | 78 %        |
| 2,4    | 10           | 7           | 7          | 70 %          | 70 %        |
| 2,5    | 10           | 8           | 7          | 80 %          | 70 %        |
| 2,6    | 11           | 8           | 7          | 73 %          | 64 %        |
| 2,7    | 11           | 8           | 8          | 73 %          | 73 %        |
| 2,8    | 11           | 9           | 8          | 82 %          | 73 %        |
| 2,9    | 12           | 9           | 8          | 75 %          | 67 %        |
| 3      | 12           | 9           | 8          | 75 %          | 67 %        |
| 3,1    | 13           | 9           | 9          | 69 %          | 69 %        |
| 3,2    | 13           | 10          | 9          | 77 %          | 69 %        |
| 3,3    | 13           | 10          | 9          | 77 %          | 69 %        |
| 3,4    | 14           | 10          | 10         | 71 %          | 71 %        |
| 3,5    | 14           | 10          | 10         | 71 %          | 71 %        |
| 3,6    | 15           | 11          | 10         | 73 %          | 67 %        |
| 3,7    | 15           | 11          | 10         | 73 %          | 67 %        |
| 3,8    | 15           | 11          | 11         | 73 %          | 73 %        |
| 3,9    | 16           | 12          | 11         | 75 %          | 69 %        |
| 4      | 16           | 12          | 11         | 75 %          | 69 %        |

Tabla 15.1: Cantidad de módulos necesarios para cumplir el tiempo de espera máximo  
 Fuente: Elaboración propia en base a resultados de la simulación