



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

METODOLOGÍA PARA PLANIFICACIÓN DE DOTACIÓN Y ASIGNACIÓN DE
TURNOS EN TIENDAS DE RETAIL

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

CHRISTIAN ANDRÉS MACUER SÁENZ

PROFESOR GUÍA:
MARCELO OLIVARES ACUÑA

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
ANDRÉS MUSALEM SAID
ARIEL SCHILKRUT COGAN

SANTIAGO DE CHILE
2018

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES
POR: CHRISTIAN ANDRÉS MACUER SÁENZ
FECHA: 2018
PROF. GUÍA: MARCELO OLIVARES ACUÑA

METODOLOGÍA PARA PLANIFICACIÓN DE DOTACIÓN Y ASIGNACIÓN DE TURNOS EN TIENDAS DE RETAIL

Resumen de la memoria

En este trabajo de tesis se presenta una metodología para planificar de forma óptima la dotación de personal. El procedimiento está separado en dos etapas. En primer lugar, se desarrolla un modelo econométrico que permite estimar el impacto de un cambio en la cantidad de vendedores sobre las ventas, para cualquier horario de la semana. El resultado de este modelo econométrico es utilizado como *input* para parametrizar un modelo de programación matemática que entrega la mejor solución factible para la planificación de la fuerza de ventas, considerando restricciones prácticas y regulatorias, con el objetivo de maximizar los ingresos de una tienda.

La principal innovación de este trabajo de tesis, es corregir el problema de endogeneidad que se produce al asignar vendedores en función de ventas históricas. Recientes trabajos han abarcado este problema, llegando a la conclusión que se puede generar una correlación positiva entre el nivel de *staff* y ventas debido a variables omitidas que los gerentes de tiendas observan y consideran en el proceso de *staffing*.

Para encontrar la cantidad óptima de vendedores en tienda, fue necesario estimar el impacto marginal en ventas de un trabajador. Este procedimiento se realizó mediante una regresión de Poisson, que utiliza principalmente el tráfico en tienda y el ratio entre clientes y trabajadores como variable independiente.

Para calcular el ratio clientes-trabajadores, fue necesario estimar la cantidad promedio de clientes en tienda. Se buscó una correlación entre las salidas de una tienda, respecto a las entradas anteriores. Con este procedimiento fue posible concluir que, en promedio, un cliente visita la sucursal ubicada en Easton Outlet Mall por aproximadamente 7 minutos. Una vez obtenido el tiempo de estadía en tienda, se utilizó la Ley de Little para calcular la cantidad promedio de clientes en tienda.

Finalmente, se estimó una regresión de Poisson que permite obtener el aumento en la conversión según el tráfico de clientes y la cantidad de vendedores actualmente en tienda. Se obtuvo que el primer vendedor adicional reporta un mayor aumento en la conversión que el último vendedor adicional posible.

Con el resultado del modelo econométrico, se realizó un modelo de programación lineal entera. Se consideraron varios escenarios, restringiendo los turnos existentes y los días de descanso consecutivos. Todos los escenarios obtuvieron mejores resultados que la situación actual, en particular, la situación que cuenta con turnos de 45 horas semanales con días de descanso consecutivos y que alterna Domingos trabajados, genera beneficios anuales adicionales de \$7.021.279,72 CLP, que representa un aumento de un 1,58 % de los ingresos.

Dedicado a mi familia y amigos. Sin ustedes nada de esto hubiera sido posible.

Agradecimientos

Este trabajo es el final de un largo camino, que hubiera sido imposible de recorrer sin el apoyo incondicional de mis padres. Papá, muchas gracias por estar siempre a mi lado, confiar en mí y consentirme en todas las locuras que se me ocurrieron. Mamá, muchas gracias por tus consejos y por tu amor incondicional. Daba lo mismo el día, hora y situación, siempre estuviste cuando te necesité. Con gestos tan simples como levantarte antes para hacerme desayuno, o acostarte más tarde para esperarme con comida, me demostrabas que eres incondicional.

No podría entregar este trabajo de tesis sin antes agradecer a mis segundos padres. Nico, Lulu, me cuesta encontrar las palabras para agradecerles todo lo que han hecho por mí. Podría trabajar toda una vida y aún así no alcanzaría a recompensar el amor infinito que me han entregado. Con gestos tan simples y nobles me hacen sentir un hijo más.

Es totalmente necesario agradecer también a aquellos que estuvieron conmigo día a día, tomando ramos juntos, haciendo tareas juntos, estudiando juntos y hasta yendo a alguna fiesta juntos de vez en cuando. Ustedes saben perfectamente quienes son, no necesito nombrarlos. Muchas gracias.

Finalmente, debo agradecer a mi cuarta y última familia. No sé que hice para merecer un grupo de amigos tan perfecto, fiel e increíble como ustedes. Seba, tu alegría y entusiasmo contagia a kilómetros, no cambies nunca, eres el alma, líder legítimo y autor intelectual de todas las locuras que hacemos. Nico, eres tan buena persona que serías capaz de dejarlo todo por tus amigos, eres admirable. Tapia, eres único, esa mezcla perfecta entre amargura y simpatía te hace muy especial, nada sería igual sin ti. Henriquez, supongo que un simple te amo es suficiente para dejar claro que eres espectacular. Intentaste cambiarte de casa para deshacerte de mí y aún así no lograste sacarme de ahí cada fin de semana. Lean bien esto, porque probablemente nunca más se los vuelva a decir. Los adoro, dejaría todo por ustedes y espero que en 50 años más cuando me inviten a algo un Jueves, pueda decir "No puedo, es Jueves de Garotos".

Gracias, gracias, gracias, muchas gracias a todos. Si pudiera volver a vivir esta gran experiencia y pasarlo la mitad de bien, no dudaría un segundo en volver a empezar.

Tabla de Contenido

1. Introducción	1
1.1. Motivación	1
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Alcances	4
1.4. Estructura de la tesis	5
2. Antecedentes y marco teórico	6
2.1. Estado del arte	6
2.2. Marco legal	8
2.3. Métodos empíricos	9
2.3.1. Series de tiempo	9
2.3.2. Regresión lineal	10
2.3.3. Regresión de Poisson	11
2.3.4. Modelo de programación lineal entera	11
3. Datos y contexto de la aplicación	13
3.1. Datos transaccionales	13
3.2. Datos de dotación de personal	16
3.3. Datos de tráfico	18
4. Estimación del efecto de vendedores en las tiendas	21
4.1. Modelo de Poisson	22
4.1.1. Variable dependiente	22
4.1.2. Variables independientes	22
4.1.3. Controles	23
4.2. Ratio de medición	24
4.3. Estimación de clientes en tienda	25
4.3.1. Estimación de tiempo de permanencia en tienda	25
4.3.2. Métodos alternativos	29
4.4. Resultados	30
5. Modelamiento del problema de asignación óptima de personal	35
5.1. Turnos	35
5.1.1. Turnos de 45 horas semanales	36
5.1.2. Turnos de 10 horas semanales	36

5.1.3. Turnos de 30 horas semanales	36
5.2. Parámetros	38
5.3. Variables	39
5.4. Función objetivo	39
5.5. Restricciones	39
6. Resolución del modelo	41
6.1. Solución óptima del problema	41
6.2. Solución ideal del problema	42
6.3. Comparación de situación actual y situación óptima	43
6.4. Análisis de sensibilidad	44
6.4.1. Permitir días de descanso no consecutivos	45
6.4.2. Eliminar turnos <i>part time</i>	45
6.4.3. Eliminar turnos de 45 horas semanales	46
6.5. Comparación de función objetivo	48
7. Prototipo funcional de asignación óptima de personal	50
7.1. Módulo de opciones	50
7.2. Información descriptiva	50
7.3. Solución óptima del problema	51
7.4. Descripción de turnos	52
8. Conclusiones	53
9. Anexos	56
Bibliografía	58

Índice de Tablas

3.1.	Resumen de estadísticos de ventas diarias entre Febrero y Marzo de 2016 . . .	15
3.2.	Resumen de estadísticos de dotación efectiva entre Febrero y Marzo de 2016	17
3.3.	Resumen de estadísticos de tráfico diario entre Febrero y Marzo de 2016 . . .	19
3.4.	Estadísticos de tráfico según día de la semana para ubicada en Easton Outlet Mall	19
4.1.	Impacto marginal de un trabajador más en tienda ubicada en Easton Outlet Mall para un día Domingo entre 15:00 y 18:00.	33
5.1.	Ejemplo de turno de 45 horas con dos días de descanso consecutivos.	36
5.2.	Ejemplo de turno de 10 horas semanales, en el cual se trabaja el día Domingo.	36
5.3.	Ejemplo de turno de 30 horas semanales y tres días completos, en el cual se trabaja Martes, Miércoles y Jueves.	37
5.4.	Ejemplo de turno de 30 horas semanales con dos días completos y dos medios días.	37
5.5.	Ejemplo de turno de 30 horas semanales, en el cual se trabaja un día completo y 4 medios días.	38
5.6.	Ejemplo de turno de 30 horas semanales, en el cual se trabajan seis jornadas en días distintos.	38
6.1.	Asignación óptima de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	42
6.2.	Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	43
6.3.	Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, si se permiten días de descanso no consecutivos.	45
6.4.	Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, si se eliminan turnos <i>part time</i>	46
6.5.	Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, si se eliminan los turnos de 45 horas semanales.	46
6.6.	Valores de función objetivo en cinco situaciones distintas, en orden decreciente, considerando distintas configuraciones en los parámetros.	49

Índice de Ilustraciones

1.1.	Esquema general de la metodología desarrollada.	4
3.1.	Ejemplo de como se ve en la base de datos de transacciones una compra compuesta por tres artículos.	14
3.2.	Ejemplo de boleta con descalce en el monto total y la descripción de los artículos, que aparentemente es un ítem duplicado.	14
3.3.	Ejemplo de boleta con descalce en el monto total y la descripción de los artículos, que aparentemente tiene un descuento.	14
3.4.	Cantidad promedio de transacciones según día de la semana y bloque horario de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall entre Febrero y Diciembre de 2016.	15
3.5.	Cantidad de días para los cuales se tiene información transaccional, de dotación asignada y de asistencia real de vendedores para cada tienda.	16
3.6.	Dotación efectiva promedio para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall según día de la semana y bloque horario.	17
3.7.	Conteo de entradas y salidas para las 15 tiendas de la muestra Entre Enero y diciembre de 2016.	18
3.8.	Tráfico promedio de clientes según bloque horario y día de la semana de tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	20
4.1.	Cálculo de ratio promedio según día de la semana y bloque horario para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	25
4.2.	Ejemplo de estimación de tiempo de estadá de clientes en tienda.	26
4.3.	Distribución de tiempos de permanencia de clientes en tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	28
4.4.	Resultados de estimación de cantidad de clientes promedio en tienda según día de la semana y bloque horario, para ubicada en Easton Outlet Mall.	28
4.5.	Niveles de venta según el tráfico promedio y la cantidad de trabajadores para una cierta tienda.	33
6.1.	Esquema de turnos óptimos de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	43
6.2.	Diferencia de dotación promedio de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall durante el año 2016, respecto a la dotación óptima.	44
6.3.	Esquema de turnos óptimos si se permiten días de descanso no consecutivos en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	46
6.4.	Esquema de turnos óptimos si se eliminan los turnos <i>part time</i> en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	47

6.5.	Esquema de turnos óptimos si se eliminan los turnos de 45 horas semanales en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	48
7.1.	Vista del módulo de opciones del prototipo de asignador óptimo de vendedores.	51
7.2.	Vista del módulo de información del prototipo de asignador óptimo de vendedores.	51
7.3.	Vista del módulo de asignación ideal del prototipo de asignador óptimo de vendedores.	51
7.4.	Vista del módulo de descripción de turnos del prototipo de asignador óptimo de vendedores.	52
9.1.	Nivel de ventas según trabajadores entre 09:00 y 12:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	56
9.2.	Nivel de ventas según trabajadores entre 12:00 y 15:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	56
9.3.	Nivel de ventas según trabajadores entre 15:00 y 18:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	56
9.4.	Nivel de ventas según trabajadores entre 18:00 y 21:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.	57

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación

Con el crecimiento del *e-Commerce*, la industria de retail de tienda tradicionales (*brick-and-mortar*) requiere fortalecerse basándose en factores diferenciadores que le permitan competir con este nuevo canal de compra. En este ámbito, se observa que en distintos sectores del retail, el rol del vendedor en la tienda para apoyar el proceso de compra es importante y no trivial de complementar en el canal online. Por ejemplo, en tiendas de especialidad como vestuario, productos electrónicos y productos para el hogar, el vendedor, debidamente capacitado, puede apoyar de forma importante el proceso de búsqueda que realiza el cliente durante la visita a una tienda. En ese ámbito, la oportuna reposición de productos en las estanterías y góndolas es un valor importante aportado por el vendedor, ya que un factor diferenciador del retail *brick-and-mortar* versus *online* es la disponibilidad inmediata del producto. En consecuencia, el rol del vendedor en la tienda tradicional, tanto tiendas de especialidad como por departamento, ha cobrado aún más importancia en presencia del rápido crecimiento del *e-Commerce*.

El gasto operacional asociado a la fuerza de trabajo en la industria de retail se estima del orden del 12% de las ventas¹. Sin embargo, la asignación de la fuerza de trabajo a distintas funciones, tiendas y horarios de trabajo es una tarea muy compleja. En particular, la regulación laboral en el sector de comercio ha tenido cambios relevantes dentro de los últimos años. Por ejemplo, en Chile se han realizado varios cambios relevantes que afectan la dotación de personal de tiendas en el sector retail:

- Además de la jornada regular de 45 horas semanales, se creó una jornada parcial de 30 horas específica para trabajadores de esta industria, prorrateando a $\frac{2}{3}$ del sueldo mínimo mensual.

¹Este valor se calcula en base a los US\$65 billones de venta anual y los 1.5 millones de empleados contratados en la industria con salario promedio de US\$460 mensual. La información es consistente con cifras del sector en EE.UU.

- La regulación permite aumentar las horas de trabajo durante períodos estacionales (ej. Navidad) en dos horas diarias durante un máximo de 9 días en los 15 días previo a Navidad, pagando horas extras a 50 % mayor que el horario regular.
- Recientemente, se ha regulado el número de días domingo que se puede trabajar, exigiendo 15 domingos libres al semestre o 29 en el caso de contratos anuales.
- Está en desarrollo una reforma laboral importante que afecta múltiples industrias en Chile, que también tendrá un efecto en las decisiones de dotación de personal en la industria de retail.

Las exigencias regulatorias, las limitaciones de flexibilidad laboral y la motivación del trabajador hacen que el proceso de determinación de la dotación sea altamente complejo en términos de contratación, capacitación y asignación de turnos de los trabajadores en el sector de comercio. Sin embargo, una parte importante de las cadenas de retail de mediano tamaño realizan una asignación de dotación de personal de forma manual.

Dados estos desafíos, proveedores de servicios al retail han ido desarrollando sistemas de información para apoyar decisiones de dotación de personal para la industria. A nivel mundial, Kronos, es uno de los principales software que se utilizan para planificar dotación. En Chile también han surgido soluciones nuevas, como *Schedule UC*. Sin embargo, las herramientas existentes tienen limitaciones importantes que describimos a continuación.

En primer lugar, las soluciones existentes realizan la proyección de dotación de la siguiente forma:

1. Se observa el nivel de dotación histórico relativo a las ventas históricas para determinar un nivel de dotación necesario para soportar un nivel de ventas dado.
2. Se realiza una proyección de las ventas futuras en base a distintos factores.
3. Se proyecta la dotación requerida para soportar esas ventas, en base a lo observado en los datos históricos.

El principal problema de esta metodología es que las ventas de una tienda, el principal factor utilizado para determinar la dotación, son endógenas y dependen a su vez de la dotación de personal. Como las ventas son función de la dotación, planificar la dotación en base a ventas produce una relación circular donde no es transparente identificar potenciales ajustes en la relación ventas dotación. Por lo tanto, si una tienda está sub-dotada, utilizar datos históricos para realizar asignaciones resultará en una programación que igualmente estará sub-dotada. Análogamente, ocurre lo mismo si una tienda está sobre-dotada.

Es precisamente por lo anterior que la planificación del personal de ventas debe abordarse mediante un enfoque diferente, con el objetivo de evitar los problemas de endogeneidad comentados en el párrafo anterior. Si se aborda el problema de dotación de personal utilizando solamente el registro de ventas históricas y personal histórico, se realizará una asignación que mantendrá los desajustes pasados. A modo de ejemplo, considere que los registros indican que por cada Y_0 dólares en ventas, la tienda utilizó en promedio X_0 horas de trabajo. Luego, para

una proyección de ventas Y_1 será necesario ajustar el personal en la misma razón, por lo tanto se asignará una dotación $X_1 = X_0 \times \frac{Y_1}{Y_0}$. Este método de asignación presenta un importante problema. En primer lugar, si en el pasado la dotación estuvo sub-dotada o sobre-dotada, con éste método este desajuste será mantenido en el futuro, pues se basa en mantener constante el ratio ventas-vendedores.

Una dotación adecuada de fuerza de ventas debe balancear la disponibilidad de vendedores con la demanda, de tal manera de entregar una calidad de servicio adecuada que permita convertir esa demanda en ventas a través de una buena disponibilidad de productos en tienda, asistencia a clientes en el proceso de compra y reducir los tiempos de espera en el proceso de pago. El problema fundamental en las soluciones actuales es que se usan las ventas como *proxy* de demanda, lo cual es incorrecto, ya que las ventas son una función conjunta de la demanda y calidad de servicio. Para realizar una buena dotación, es fundamental contar con una mejor métrica de la demanda potencial que tiene la tienda.

Recientes innovaciones tecnológicas permiten medir de forma más precisa la demanda potencial, a través del tráfico de clientes a una tienda. El tráfico de clientes se ve afectada por factores de mercado, actividad promocional de la tienda y su competencia y otros factores. Sin embargo, el tráfico que entra a la tienda no debiese ser afectado por las variaciones de corto plazo en la dotación de la tienda, ya que los vendedores solo pueden asistir a un cliente una vez que entra a la tienda. Esto rompe la relación circular que existía entre ventas y dotación: la dotación puede ser planificada en base al tráfico que se anticipa para un periodo, pero el tráfico no se ve afectado por variaciones de dotación en el corto plazo. Esta diferencia es fundamental y es una de las innovaciones importantes que se aprovechan en este trabajo de tesis para mejorar las soluciones existentes para apoyar la gestión de dotación de tiendas.

Es por todo lo anterior, que en este trabajo de tesis se busca realizar una asignación óptima de personal en tienda para una cadena de ropa de niños, con locales principalmente en centros comerciales de Santiago. Esta asignación busca corregir los problemas mencionados previamente, por lo tanto se realizará en función de datos históricos de tráfico.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo general es desarrollar una herramienta que permita definir si una tienda de *retail* está sub-dotada o sobre-dotada y determinar la dotación ideal de la fuerza de ventas que maximice los beneficios.

A continuación, en la Figura 1.1, se muestra el esquema general de la herramienta.

En primer lugar, con información histórica de tráfico, ventas y dotación, se estima el

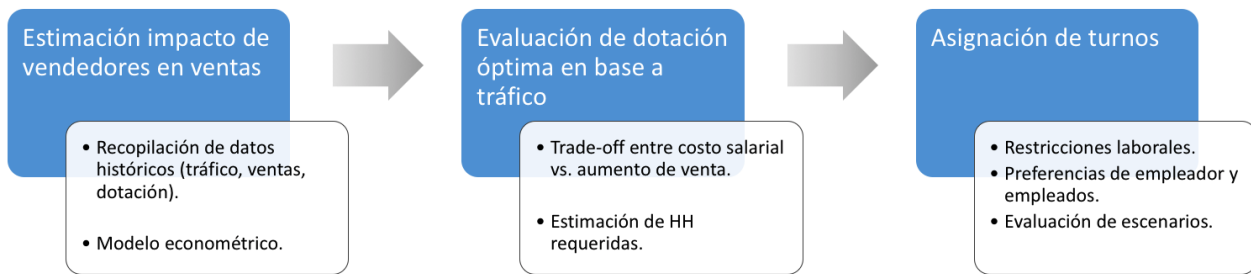


Figura 1.1: Esquema general de la metodología desarrollada.

impacto de los vendedores en tienda. Luego, en base al impacto calculado, se evalúa la dotación óptima, considerando el costo salarial de un vendedor, respecto al aumento en ventas que reporta contratar un empleado más. Finalmente, con el cálculo de dotación óptima listo, se realiza la asignación de turnos necesarios para satisfacer la dotación óptima, considerando varios factores, como preferencias del empleador y restricciones laborales, entre otras.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Desarrollar una metodología que permita, mediante modelos econométricos, definir si una tienda de *retail* está sub-dotada o sobre-dotada en algún instante.
2. Desarrollar una herramienta que permita definir la cantidad óptima de horas de trabajo necesarias para una tienda de *retail*.
3. Desarrollar una herramienta que defina la cantidad necesaria y asignación de cada tipo de turno de trabajo para satisfacer la dotación ideal de la fuerza de ventas.

1.3. Alcances

El trabajo de tesis contempla el desarrollo de una metodología que entregue la asignación óptima de fuerza de ventas para cada día y hora de la semana. Para lograr lo anterior, se desarrolló un modelo matemático que realiza la asignación y calendarización óptima semanal en función del impacto en ventas que genera un trabajador adicional en cada día y hora de la semana. El impacto en ventas fue calculado mediante un modelo econométrico de Poisson, utilizando como gran fuente exógena de información, el tráfico de clientes en los locales de venta.

Se estudian 15 tiendas, una ubicada en Viña del Mar, una ubicada en Antofagasta y las restantes 13 ubicadas en Santiago, todas en centros comerciales. Se utilizaron datos transaccionales, datos de tráfico de clientes, con el momento exacto en el que ocurrió un ingreso o una salida de un local, y datos de dotación histórica planificada y real. La metodología es totalmente replicable para las 15 tiendas, solamente se deben cambiar los parámetros que difieren entre tiendas.

Si bien, el entregable final de este trabajo de tesis es un prototipo que realice la asignación óptima de fuerza de ventas semanalmente, todo lo realizado se considera como entregable, desde los códigos de los modelos econométricos y de programación lineal, hasta el informe final con la descripción detallada de la metodología y resultados.

1.4. Estructura de la tesis

La estructura utilizada en esta tesis para presentar el trabajo realizado, es la siguiente:

1. **Capítulo 2. Antecedentes y marco teórico:** En este capítulo se detalla el estado del arte de las investigaciones relacionadas con este trabajo de tesis, además de las herramientas matemáticas que principalmente fueron utilizadas en este trabajo de tesis.
2. **Capítulo 3. Datos y contexto de la aplicación:** Se muestra como es la estructura de los datos utilizados en este trabajo de tesis, además de algunos estadísticos descriptivos que permiten entender los principales *insights* de los datos.
3. **Capítulo 4. Modelo econométrico:** Corresponde a la explicación de la metodología para estimar el impacto en ventas de un trabajador. Se muestra detalladamente como es el modelo utilizado, los modelos alternativos, los resultados y como es la construcción del nivel de ventas, principal *input* del modelo de programación lineal.
4. **Capítulo 5. Modelamiento del problema de asignación óptima de personal:** Se muestra detalladamente como es el modelo de programación lineal que resuelve la asignación y calendarización de fuerza de ventas y turnos de trabajo.
5. **Capítulo 6. Resolución del modelo:** Corresponde a la resolución del modelo de programación lineal. En Primer lugar se muestra la solución óptima y posteriormente la solución ideal, que se adapta a las flexibilidades y regulaciones pertinentes. En segundo lugar se compara la situación actual respecto a la situación óptima. Finalmente, se realiza un análisis de sensibilidad, realizando variaciones de los principales parámetros modificables del modelo.
6. **Capítulo 7. Prototipo funcional de asignación óptima de personal:** Se muestra como es el prototipo funcional del modelo de programación lineal, que es principalmente una interfaz amigable que es capaz de ejecutar el modelo desde cualquier lugar, en los servidores de la Universidad.
7. **Capítulo 8. Conclusiones:** Se presentan las principales conclusiones del trabajo de tesis, propuestas para posibles trabajos futuros y limitaciones que tuvo esta memoria.

Capítulo 2

Antecedentes y marco teórico

En el presente capítulo se presenta el estado del arte de las investigaciones relacionadas con este trabajo de título, un breve repaso de la normativa vigente relacionada con el objetivo del trabajo y un marco conceptual que permite entender las principales herramientas matemáticas que fueron utilizadas durante el desarrollo de este trabajo.

2.1. Estado del arte

Durante los últimos años, en la industria del retail se han realizado grandes avances en la gestión del inventario, el principal gasto operativo de la industria. Es por lo anterior, que ultimamente ha cobrado aún más importancia la gestión de los costos operativos relacionados con la fuerza laboral, principalmente porque representan una gran oportunidad para hacer más eficiente el negocio. Lo anterior, en conjunto con los avances tecnológicos, que permiten tener información en tiempo real sobre ubicación de vendedores y tráfico de clientes, motivan a investigar cómo debe ser la dotación ideal de personal en una tienda.

Estos datos han motivado una gran cantidad de estudios sobre la gestión de vendedores en la industria del retail, comenzando con Fisher et al. [2], que estudió de manera empírica como se ven afectadas las ventas en las tiendas cuando se realizan cambios en la cantidad de vendedores. El estudio realizado por Fisher et al. [2] pudo concluir que optimizando el presupuesto entre tiendas del salario de vendedores se traduciría en un aumento de entre un 2-3 % en los ingresos, sin aumento en los costos.

Posterior a Fisher et al. [2], Perdikaki et al. [7] estudia la relación entre la cantidad de vendedores en tienda y las ventas, agregando un factor fundamental, el flujo de clientes en tienda. En su estudio, señala que al aumentar la dotación de personal en una tienda de *retail*, para niveles de tráfico promedio, las ventas aumentan de \$10.00 USD a \$11.32 USD. Análogamente, al disminuir la dotación en una desviación estándar, para niveles de tráfico promedio, las ventas caen de \$10.00 USD a \$8.68 USD. Cuatro años más tarde, Chuang et al. [1] expande este trabajo al desarrollar un modelo de decisión para planificar la fuerza laboral a un nivel semanal por tienda, considerando las diferencias intrínsecas de cada tienda de una

cadena de retail.

El trabajo desarrollado en este trabajo de tesis es similar a lo planteado por Perdikaki et al. [7] y Chuang et al. [1], pues el objetivo es obtener una calendarización óptima de vendedores a nivel de día y hora, considerando turnos de full-time y part-time. Adicionalmente, existe una relación con el estudio de Mani et al. [6], ya que en este trabajo de tesis, para poder planificar de manera óptima el personal, se desarrolló una metodología que permite cuantificar si una tienda está sobre dotada o sub dotada en algún instante del tiempo. A diferencia de Mani et al. [6], la metodología desarrollada es flexible a las regulaciones laborales y no asume que las tiendas tienen un nivel óptimo de vendedores. Mani et al. [6] señala que el impacto en la conversión de estar sub-dotado es de 1.78 % en días de semana y 1.56 % en fines de semana. El impacto es aún mayor si se considera solamente las horas con tráfico más elevado, ya que el impacto en la conversión de estar sub-dotado en horas *peak* en días de semana es de un 1.95 % mientras que en fines de semana es de un 1.71 % para una tienda de *retail*. En el ámbito de investigación de operaciones se han desarrollado una gran cantidad de modelos de optimización para asignar turnos de trabajo mediante modelos de programación matemática (e.g. Thompson [8]). No obstante, estos modelos generalmente consideran la cantidad de empleados requeridos como un parámetro fijo del modelo, logrando encontrar una solución óptima de acuerdo a los requerimientos laborales previamente configurados. En este trabajo de tesis, el nivel de horas de trabajo requeridas es una variable clave del modelo, pues es necesario considerar que un vendedor más genera impacto positivo en las ventas, pero tiene un costo salarial asociado. Por lo tanto, es necesario evaluar el *trade off* de beneficios sobre costos.

El trabajo reciente de Fisher et al. [3] demuestra que identificar el efecto causal de los vendedores sobre las ventas es endógeno, pues las ventas se ven afectadas según la cantidad de trabajadores disponibles en tienda. Fisher et al. [3] propone una metodología de planificación de personal que consiste en tres etapas. En primer lugar, con información histórica de ventas, de planificación de vendedores y de asistencia de vendedores se estima como se ven afectadas las ventas según el personal en tienda. En segundo lugar, realizan cambios en la planificación de algunas tiendas y prueban los modelos de manera empírica, de esta manera pueden controlar la tendencia de las ventas con aquellas tiendas que no sufren modificaciones. Finalmente, se realizan estos cambios a lo largo de toda la cadena de *retail*. Sus resultados muestran que si se implementa esta metodología en 168 tiendas por un periodo de seis meses, es posible tener un aumento de hasta un 4.5 % en los ingresos. A diferencia de Fisher et al. [3], este trabajo de tesis realiza el estudio de impacto en ventas y calendarización de manera más específica, planificando empleados por hora y no por semana como Fisher et al. [3].

El modelo econométrico de predicción desarrollado en este trabajo de tesis es capaz de estimar ventas en función del tráfico de clientes y de la cantidad de vendedores en tienda. Al igual que Chuang et al. [1] y Perdikaki et al. [7], se encontró un efecto no lineal de la cantidad de vendedores sobre las ventas, que es similar a lo encontrado por Fisher et al. [3], en un rango de entre 2-5 %, dependiendo del día, hora y tienda en estudio.

2.2. Marco legal

Se realizó un estudio de la normativa vigente en Chile de acuerdo al código del trabajo para jornadas ordinarias, de 45 horas semanales, y para jornadas *part time*. A continuación se muestran los puntos más relevantes para este trabajo de tesis:

- Para contratos de trabajo de 45 horas semanales, la mayor cantidad de horas ordinarias que puede trabajar un empleado es de 10 horas por día.
- Las partes pueden acordar distribuir la jornada laboral no de la misma manera todos los días, pero se debe tener en consideración que un trabajador debe contar con al menos 29 domingos de descanso en un año o 15 domingos de descanso en un periodo de seis meses.
- Las 45 horas semanales deben ser distribuidas en no menos de cinco días y en no más de seis días.
- El tiempo mínimo de colación es de 30 minutos, no obstante se puede acordar un tiempo mayor según criterios del empleador.
- Independiente del número de horas trabajadas en un domingo, los trabajadores tienen derecho a un día completo de descanso por las labores prestadas en dicho domingo, además de un día completo por cada feriado trabajado.
- El empleador puede extender la jornada diaria en hasta dos horas diarias por nueve días previo a Navidad. No obstante, estas horas adicionales deben pagarse como horas extraordinarias y deben ser distribuidos entre los 15 días previos a Navidad. Esta norma aplica solo a trabajadores que tengan atención directa al público, y es importante considerar que está estrictamente prohibido que un empleado trabaje hasta más allá de las 23:00 horas.
- Para el caso de jornadas de tiempo parcial, se exige que la jornada diaria sea continua, con la excepción de la hora de almuerzo.
- El empleador y empleado pueden llegar a un acuerdo para redistribuir la asignación de horas de trabajo, con la salvedad de que debe ser informada con al menos una semana de anticipación.
- El código del trabajo permite jornadas de tiempo parcial de no más de 30 horas semanales y se debe establecer un contrato, considerando que existen labores y atribuciones claramente definidas para el rol de un vendedor.
- Si el contrato es por un tiempo definido inferior a 30 días, se debe firmar obligatoriamente en no más de cinco días después de haber comenzado la prestación de servicios.
- Si un trabajador *part time* presta servicios en modalidad de práctica profesional con el correspondiente certificado de práctica profesional, no es necesario celebrar un contrato de trabajo. Si bien no es necesaria una remuneración, el empleador debe proporcionar beneficios de colación y movilización, o en su defecto, cancelar una asignación compensatoria que cubra los gastos mencionados previamente.

2.3. Métodos empíricos

2.3.1. Series de tiempo

La base de datos de tráfico a la cual se tuvo acceso, no permite identificar con exactitud el tiempo de estadía de cada cliente en tienda. Es por lo anterior, que fue necesario utilizar un método alternativo que permita estimar el tiempo de estadía.

A continuación se presentan dos tipos de modelos lineales estacionarios relacionados con el trabajo de tesis, que fueron útiles para estimar el tiempo de estadía de un cliente en tienda¹:

Procesos autorregresivos

Un proceso autorregresivo es aquel que supone que el valor actual de la serie X_t puede ser explicado en función de q valores pasados $X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, \dots, X_{t-q}$, con el objetivo de pronosticar el valor actual X_t . El modelo autorregresivo de orden q a estimar es el siguiente:

$$X_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i * X_{t-i} + \varepsilon_t$$

Donde X_i es el valor de la serie en el intervalo i , $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_q$ son los parámetros del modelo y ε_t corresponde a un proceso de ruido blanco.

Proceso autorregresivo de medias móviles

Un proceso autorregresivo de medias móviles es similar al proceso autorregresivo normal, pero con la salvedad que el valor actual de la serie X_t puede ser explicado en función q valores pasados $X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, \dots, X_{t-q}$ y p valores pasados de una fuente exógena $Y_{t-1}, Y_{t-2}, Y_{t-3}, \dots, Y_{t-p}$. El modelo autorregresivo de orden q, p, r a estimar es el siguiente:

$$X_t = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i * X_{t-i} + \sum_{i=0}^p \omega_i * Y_{t-i} + \sum_{i=0}^r \gamma_i * \varepsilon_{t-i}$$

Donde $\omega_0, \omega_1, \dots, \omega_p$ son los coeficientes de la fuente exógena Y_t .

Este tipo de serie de tiempo será útil para estimar más adelante el tiempo promedio de estadía en tienda de un cliente.

¹Ver sección 4.3.1.

2.3.2. Regresión lineal

Un modelo de regresión lineal se puede utilizar para aproximar una relación de dependencia entre una variable dependiente y una o varias variables independientes de la siguiente manera:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i X_i + \varepsilon$$

La estimación de este modelo se realiza mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios, que encuentra la combinación óptima de coeficientes $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_k$ que minimiza los errores del modelo, los cuales vienen dados por:

$$\varepsilon_i = |Y_i - \hat{Y}_i|$$

Con Y_i el valor de la variable dependiente e \hat{Y}_i el valor estimado mediante el modelo de regresión lineal.

Es importante mencionar que se deben cumplir los siguientes cinco supuestos para que los coeficientes estimados mediante el método de mínimos cuadrados ordinarios sean óptimos:

- **Linealidad:** Debido a la especificación del modelo, la relación de la variable dependiente con las variables independientes debe ser estrictamente lineal. De lo contrario se presenta un error de especificación del modelo.
- **Independencia de los errores:** Este supuesto supone que los errores no están correlacionados unos con otros, es decir, que se cumple lo siguiente:

$$Cov[\varepsilon_i, \varepsilon_j | X] = 0 \quad \forall i \neq j$$

- **Homocedasticidad en los residuos:** Este supuesto implica que la varianza de los errores debe ser uniforme en el rango de valores de los pronósticos, es decir, que se cumpla lo siguiente:

$$Var[\varepsilon_i | X] = \omega^2 \quad \forall i = 1, \dots, n$$

- **Normalidad de los residuos:** El valor esperado de un error debe ser cero independiente de la observación, es decir:

$$E[\varepsilon_i | X] = 0 \quad \forall i$$

No obstante, debido a la cantidad de observaciones y aplicando la ley de los grandes números, se puede considerar que este supuesto se cumple siempre y cuando no se asuman distribuciones alternativas para los residuos.

- **No colinealidad entre variables independientes:** Si algunas de las variables independientes explicitadas en el modelo de regresión lineal puede ser expresada como una combinación lineal de otras variables independientes, se dice que el modelo presenta multicolinealidad. Esto ocasiona que los coeficientes estimados por mínimos cuadrados ordinarios no sean óptimos.

2.3.3. Regresión de Poisson

Un modelo de Poisson puede ser utilizado para modelar el comportamiento de una variable aleatoria con una cantidad de ocurrencias finitas. Estamos frente a un proceso de Poisson cuando una variable aleatoria se comporta de acuerdo a una distribución de Poisson, es decir, si su función de masa es:

$$f(k, \lambda) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^k}{k!}$$

Donde k es el número de ocurrencias de un evento, mientras que λ es un parámetro positivo que representa la esperanza de ocurrencia durante un intervalo dado. Un modelo de Poisson se estima de la siguiente manera:

$$Y = \exp(\beta_0 + \sum_{i=1}^I X_i)$$

Donde X_i y β_i con $i = 1, \dots, I$ son las variables independientes del modelo y los coeficientes asociados a dichas variables respectivamente.

En este trabajo de tesis, se decidió utilizar una regresión de Poisson por sobre un modelo lineal por dos razones. En primer lugar, las transacciones (variable dependiente), fueron modeladas como un proceso de conteo. En segundo lugar, este modelo permite capturar de buena manera el efecto no lineal de saturación que se produce en una tienda cuando la cantidad de vendedores es suficiente para el tamaño de una tienda.

2.3.4. Modelo de programación lineal entera

Un problema de programación lineal entera esta compuesto por tres elementos:

- **Función objetivo:** Es la función matemática que se desea optimizar.
- **Variables:** Corresponde a las posibles decisiones que se pueden tomar.
- **Restricciones:** Son las relaciones entre variables y parámetros que deben cumplir ciertas variables.

Según las características de cada problema de programación lineal, es posible caracterizar los posibles tipos de modelos en las siguientes cuatro opciones:

- **Programación lineal:** La función objetivo y el conjunto de restricciones está compuesto únicamente por términos lineales.
- **Programación lineal entera mixta:** Es un modelo de programación entera, con la salvedad que las variables pueden tomar valores reales enteros y reales.

- **Programación cuadrática:** Tipo de modelamiento en el que la función objetivo no es de orden lineal, mientras que las restricciones si lo son.
- **Programación no lineal:** Similar a un problema de programación cuadrática, con la salvedad que tanto la función objetivo y el conjunto de restricciones poseen términos no lineales.

El tiempo de resolución del problema dependerá de la complejidad de este. A continuación se presentan los posibles tipos con los cuales se puede categorizar un problema:

- **Problema NP:** El problema puede ser resuelto en un tiempo polinómico mediante un modelo de programación.
- **Problema P:** El problema puede ser resuelto mediante un algoritmo polinómico. Es un sub conjunto de los problemas NP.
- **Problema NP-Completo:** Sub conjunto de problemas NP, con la característica distintiva que pueden ser transformados en un tiempo polinómico en un problema de tipo NP.

Los modelos de programación lineal entera son extremadamente útiles para resolver problemas de asignación de todo tipo, en particular de asignación de personal. Una muestra de que se han usado por mucho tiempo, es el estudio realizado por Thompson [8] el año 1995, en el cual desarrolló un modelo de programación lineal para calendarizar turnos considerando jornadas que no necesariamente comienzan a la misma hora ni con la misma duración.

En este trabajo de tesis se resolvió un modelo de programación lineal entera en el cual se elige la mejor combinación de turnos posible de acuerdo a los requerimientos del usuario, considerando todo el universo de jornadas que puedan existir.

Capítulo 3

Datos y contexto de la aplicación

En el presente capítulo se describirán los datos con los cuales se desarrolló el trabajo. Una tienda de especialidad, amablemente, facilitó información sobre las transacciones realizadas durante todo el año 2016, información de tráfico para cada una de sus tiendas y también la planificación y asistencia de los vendedores en 15 locales. Es importante mencionar que de las 15 tiendas para las cuales se tiene información, 13 de ellas están ubicadas en la Región metropolitana, una en la Región de Valparaíso y una en la Región de Antofagasta.

Para efectos del análisis, se agruparon algunos datos en bloques horarios, en respuesta a patrones similares de comportamiento y con el objetivo de tener menos dispersión en los resultados. Es así, como el horario de atención se consideró desde las 09:00 horas hasta las 21:00, dividiendo las 12 horas de atención en cuatro bloques de tres horas.

A continuación, se muestra con mayor detalle como se procesaron los datos y los principales estadísticos descriptivos que motivan las hipótesis a futuro.

3.1. Datos transaccionales

Se utilizó una base de datos con aproximadamente 300.000 observaciones, con información de la tienda, fecha, hora, id de boleta, monto total de boleta, vendedor y monto del artículo. Es importante mencionar que cada observación corresponde a un artículo dentro de una boleta. Es decir, si una compra estuvo compuesta por tres artículos, en la base de datos aparecerán tres observaciones con el mismo identificador de tienda, fecha, id de boleta, monto total de boleta y vendedor.

En la Figura 3.1 se muestra un ejemplo de boleta compuesta por tres artículos. Se aprecia claramente que se repite en las 3 observaciones la información de tienda, fecha, id de boleta, monto total de boleta y vendedor. Al sumar el precio de los tres ítems, se obtiene el monto

Tienda	Fecha	NumBoleta	TotalBoleta	Vendedor	cantidad	precioUnitario
Mall Plaza Sur	25-01-16 15:47	1117	14470	PS12	1	3490
Mall Plaza Sur	25-01-16 15:47	1117	14470	PS12	1	3990
Mall Plaza Sur	25-01-16 15:47	1117	14470	PS12	1	6990

Figura 3.1: Ejemplo de como se ve en la base de datos de transacciones una compra compuesta por tres artículos.

total de la boleta, que en este caso es \$14.470. Es necesario mencionar que no todas las boletas calzan perfectamente con la descripción de los artículos que la componen. En la Figura 3.2 se muestra un ejemplo de descalce en la boleta, que aparentemente es un ítem duplicado.

Tienda	Fecha	NumBoleta	TotalBoleta	Vendedor	cantidad	precioUnitario
Mall Plaza Trebol	08/09/2016 17:59	118204	3990	TB21	1	3990
Mall Plaza Trebol	08/09/2016 17:59	118204	3990	TB21	1	3990

Figura 3.2: Ejemplo de boleta con descalce en el monto total y la descripción de los artículos, que aparentemente es un ítem duplicado.

Existen otros casos particulares en la base de datos como boletas que aparentemente tienen descuento, pero no se cuenta con información suficiente para poder ratificar que efectivamente se trató de un descuento. En la Figura 3.3 se muestra un ejemplo con descalce en el monto total y la descripción de los artículos. La suma de los cuatro productos es de \$41.960 pero la boleta fue de \$37.766, esto aparentemente fue un descuento de un 10 %.

Tienda	Fecha	NumBoleta	TotalBoleta	Vendedor	cantidad	precioUnitario
Mall Paseo Los Dominicos	30/05/2016 17:48	5384	37766	SC14	1	13990
Mall Paseo Los Dominicos	30/05/2016 17:48	5384	37766	SC14	1	5990
Mall Paseo Los Dominicos	30/05/2016 17:48	5384	37766	SC14	1	16990
Mall Paseo Los Dominicos	30/05/2016 17:48	5384	37766	SC14	1	4990

Figura 3.3: Ejemplo de boleta con descalce en el monto total y la descripción de los artículos, que aparentemente tiene un descuento.

Es importante mencionar que estos descalces no presentan un problema, ya que desde la tienda confirmaron que el valor confiable es el monto del total de la boleta y no se realizarán análisis a nivel de artículos por boleta, por lo tanto basta agrupar la información solamente según tienda, fecha, hora, id de boleta, vendedor y monto total de la boleta.

En la Tabla 3.1 se muestra un resumen de los estadísticos más importantes de transacciones para las 15 tiendas de la muestra. Se observa que hay una diferencia significativa en el volumen de ventas de aquellos locales que más venden respecto a los locales que menos

venden. No obstante, esta diferencia en ventas no está ligada a una diferencia similar de la fuerza de ventas, que más adelante se verá, es más bien homogénea entre tiendas. Es importante mencionar que en los datos de la Tabla 3.1 se omitieron aquellos días en que las ventas fueron cero, pues correspondían a días feriados en que las tiendas no estuvieron atendiendo público.

Tabla 3.1: Resumen de estadísticos de ventas diarias entre Febrero y Marzo de 2016

Tienda ubicada en	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.	N
Easton Outlet Mall	81,842	54,633	9	326	330
Espacio Urbano 15N	54,377	28,982	12	155	329
Espacio Urbano Plaza Maipu	52,833	31,132	2	174	330
Florida Center	52,787	33,657	8	189	328
Mall Arauco Maipu	46,404	28,79	8	179	329
Mall Paseo Los Dominicos	38,76	13,222	9	80	329
Mall Plaza Antofagasta	54,771	32,445	11	173	179
Mall Plaza Norte	46,982	28,648	7	160	329
Mall Plaza Sur	43,78	27,904	3	154	328
Mall Plaza Tobalaba	59,319	35,689	5	214	329
Mall Plaza Trebol	83,869	49,061	14	323	328
Plaza Egaña	41,86	22,723	8	165	329
Plaza Oeste	75,213	41,341	13	228	329
Plaza Vespucio	74,579	35,353	11	240	273
Vivo Panoramico	40,832	18,717	6	102	327

Finalmente, para efectos del análisis que se desarrolló en esta tesis, se colapsaron las ventas de cada tienda y cada día en cuatro bloques de tres horas, desde las 09:00 hasta las 21:00, en respuesta a la agrupación horaria que se eligió debido a los patrones de comportamiento y con el objetivo de tener menos dispersión en las estimaciones, ya que se puede controlar el efecto fijo sobre las ventas de cada ventana horaria. En la Figura 3.4 se muestra la cantidad de transacciones promedio para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Número de transacciones promedio Easton Outlet Mall	9:00 - 12:00	12:00 - 15:00	15:00 - 18:00	18:00 - 21:00
Lunes	3,1	14,3	18,5	11,1
Martes	4,4	14,1	19,4	10,1
Miercoles	3,5	17,6	19,2	11,3
Jueves	5,2	19,2	23,1	13,1
Viernes	5,9	23,4	28,2	18,6
Sabado	15,4	58,5	62,3	35,7
Domingo	6,8	39,4	43,5	22,5

Figura 3.4: Cantidad promedio de transacciones según día de la semana y bloque horario de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall entre Febrero y Diciembre de 2016.

En la Figura 3.4 se puede apreciar que existe una gran varianza entre la cantidad de transacciones dependiendo del día y bloque horario, de hecho, los fines de semana durante la tarde es cuando más cantidad de transacciones se realizan en promedio, de hecho, se realizan en promedio 20 veces mas ventas los Sábados entre 15:00 y 18:00 que los Lunes entre 09:00 y 12:00.

3.2. Datos de dotación de personal

Para este trabajo de tesis se utilizó la planificación de dotación para cada tienda durante el año 2016 y la dotación de personal real, es decir, la asistencia controlada en las 15 tiendas durante todo el año 2016. En la Figura 3.5 se muestra la cantidad de días para los cuales cada tienda tuvo información respecto a la dotación planificada y real.

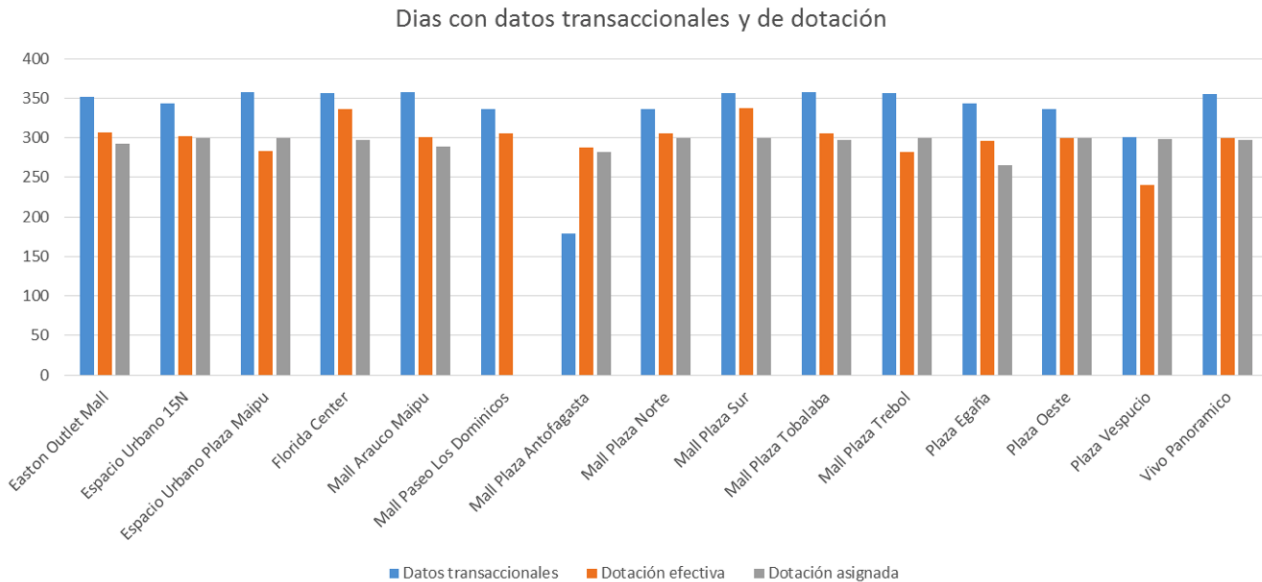


Figura 3.5: Cantidad de días para los cuales se tiene información transaccional, de dotación asignada y de asistencia real de vendedores para cada tienda.

En la Figura 3.5 se aprecia que para cada tienda hubo aproximadamente 300 días con información respecto a la fuerza de ventas efectiva y planificada, excepto para la tienda ubicada en Mall Paseo Los Dominicos, que no tuvo planificación de dotación a comienzos del año 2016.

Con el objetivo de comprender la dotación promedio durante el día, se realizó el siguiente procedimiento. Se dividió el horario de trabajo en bloques de 15 minutos, comenzando a las 09:00 y terminando a las 21:00. Luego, se contabilizó la cantidad de trabajadores en cada uno de estos bloques, obteniendo así la dotación promedio de las tiendas cada 15 minutos. Posteriormente, se agruparon los intervalos de 15 minutos en bloques más grandes de tres horas, obteniendo así la cantidad promedio de horas hombre que hubo en intervalos de tres horas durante el día. Finalmente, se calculó el promedio diario considerando que está compuesto por cuatro bloques de tres horas. Los resultados de la dotación promedio por tienda se muestran en la Tabla 3.2.

A pesar de que la desviación estándar no refleja una gran varianza de dotación entre días, hay una gran diferencia entre días de semana y fines de semana. A continuación, en la Figura 3.6 se muestra la dotación efectiva promedio entre Febrero y Diciembre de 2016 para la tienda

Tabla 3.2: Resumen de estadísticos de dotación efectiva entre Febrero y Marzo de 2016

Tienda ubicada en	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	P5	P95
Easton Outlet Mall	305	2,7	1	0,8	6,8	1,5	4,6
Espacio Urbano 15N	300	2,9	0,6	1,6	5,8	2,3	3,9
Espacio Urbano Plaza Maipu	281	2,5	0,6	0,8	4,5	1,6	3,7
Florida Center	328	2,5	0,7	0,8	4,9	1,5	3,7
Mall Arauco Maipu	299	2,1	0,6	0,7	4	1,4	3,1
Mall Plaza Antofagasta	286	2,8	0,7	0,7	5,2	2	4,3
Mall Plaza Norte	304	2,4	0,6	1,1	4,9	1,5	3,6
Mall Plaza Sur	328	2,4	0,7	1	4,8	1,5	3,8
Mall Plaza Tobalaba	304	2,7	0,7	0,4	5,1	1,8	4,3
Mall Plaza Trebol	280	3	0,9	1,4	5,7	1,9	4,7
Plaza Egana	294	2,4	0,7	0,7	4,6	1,5	3,8
Plaza Oeste	298	3,1	0,8	1,6	6	2,2	4,6
Plaza Vespucio	238	3	,6	1	6,3	2,2	4,2
Vivo Panoramico	297	2,2	0,6	0,6	4	1,3	3,1

ubicada en Easton Outlet Mall.

Cantidad de vendedores promedio Ficus Easton Outlet Mall	09:00 - 12:00	12:00 - 15:00	15:00 - 18:00	18:00 - 21:00
Lunes	1,7	2,5	2,4	2,2
Martes	1,7	2,4	2,5	2,1
Miercoles	1,9	2,7	2,7	2,5
Jueves	1,7	2,5	2,5	2,3
Viernes	2,1	3,1	3,0	2,7
Sabado	3,3	4,9	4,5	4,1
Domingo	2,4	3,5	3,3	2,9

Figura 3.6: Dotación efectiva promedio para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall según día de la semana y bloque horario.

Se puede observar en la Figura 3.6 que los días Sábado y Domingo, especialmente durante la tarde, son los horarios con mayor dotación promedio de la semana. Se observa además que la cantidad de vendedores entre las 09:00 y 12:00 es levemente menor que en el resto del día, pero no lo que uno esperaría considerando la gran diferencia de ventas en las mismas ventanas horarias¹.

¹ver Figura 3.6.

3.3. Datos de tráfico

Se utilizó una base de datos con 20.175.982 observaciones que contiene el momento exacto² en que se producen entradas y salidas en la tienda. Es importante mencionar que no es posible, con la información disponible, saber en que momento entró y salió un determinado cliente, solo se pueden identificar entradas y salidas, por lo tanto no se puede afirmar que una salida corresponde a la entrada inmediatamente anterior.

Tráfico de tiendas	Entradas	Salidas	Diferencia respecto a entradas
Easton Outlet Mall	104.448	107.159	-2,60%
Espacio Urbano 15N	135.128	132.913	1,64%
Espacio Urbano Plaza Maipu	109.856	110.491	-0,58%
Florida Center	113.595	111.422	1,91%
Mall Arauco Maipu	116.507	116.864	-0,31%
Mall Paseo Los Dominicos	49.569	51.990	-4,88%
Mall Plaza Antofagasta	65.930	64.527	2,13%
Mall Plaza Norte	109.494	106.521	2,72%
Mall Plaza Sur	84.387	83.719	0,79%
Mall Plaza Tobalaba	131.724	130.387	1,02%
Mall Plaza Trébol	195.567	198.937	-1,72%
Plaza Egaña	130.128	106.240	18,36%
Plaza Oeste	162.018	160.126	1,17%
Plaza Vespucio	125.640	124.927	0,57%
Vivo Panorámico	63.415	62.763	1,03%

Figura 3.7: Conteo de entradas y salidas para las 15 tiendas de la muestra Entre Enero y diciembre de 2016.

El objetivo de la Figura 3.7 es posible ilustrar que hay errores de medición sistemáticos que dificultaron el procesamiento de la información de tráfico para los modelos econométricos. Para algunas tiendas, como por ejemplos las ubicadas en Easton Outlet Mall, Mall Paseo Los Dominicos y Mall Plaza el Trébol, se contabilizan sistemáticamente más salidas que entradas. Por el contrario, para otras tiendas, como las ubicadas en Mall Plaza Antofagasta, Florida Center y Plaza Egaña, se contabilizan sistemáticamente más entradas que salidas. Es precisamente la tienda ubicada en el mall Plaza Egaña la que presenta el error más grande, con 18,36% más entradas que salidas durante los meses de Febrero y Diciembre de 2016.

De aquí en adelante se considerará el tráfico o flujo de personas como las entradas a la tienda. A pesar de que las salidas serán fundamentales más adelante para estimar el tiempo de estadía en tienda, con el objetivo de ser consistente en las estimaciones, las entradas serán tratadas como el flujo de personas. En la Tabla 3.3³ se muestra el resumen de los estadísticos más relevantes del tráfico de clientes en cada una de las tiendas de la muestra.

Se puede observar, en la Tabla 3.3, que el flujo de clientes es considerablemente distinto en promedio entre tiendas. Por ejemplo, la tienda ubicada en Mall Paseo Los Dominicos,

²Momento exacto hace referencia al día y hora con precisión de milisegundos.

³Es importante mencionar que se omitieron las observaciones que no tenían tráfico, ya que eran principalmente en días feriados o en días que no hubo recopilación de información.

Tabla 3.3: Resumen de estadísticos de tráfico diario entre Febrero y Marzo de 2016

Tienda ubicada en	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	P5	P95
Easton Outlet Mall	329	318,6	239	12	1390	108	824
Espacio Urbano 15N	329	411,5	182,6	170	1047	192	734
Espacio Urbano Plaza Maipu	330	332,9	133	94	996	143	582
Florida Center	328	346,3	198,2	94	1360	143	732
Mall Arauco Maipu	327	358,9	193,8	126	1433	156	776
Mall Paseo Los Dominicos	329	151,2	49,2	55	413	90	245
Mall Plaza Antofagasta	178	370,4	164,8	153	1010	173	706
Mall Plaza Norte	329	336,7	171,9	71	1205	148	677
Mall Plaza Sur	328	257,3	146,8	57	843	104	526
Mall Plaza Tobalaba	329	404	204,6	136	1366	178	829
Mall Plaza Trebol	327	605,1	300,4	99	1708	270	1190
Plaza Egana	329	395,5	175,5	112	1327	199	731
Plaza Oeste	329	493,9	279,6	150	1821	205	1041
Plaza Vespucio	250	502,6	185,2	52	1392	279	858
Vivo Panoramico	328	200	69,8	59	496	78	307

tiene en promedio aproximadamente un 25 % del tráfico de la tienda ubicada en Mall Plaza el Trébol. Otro aspecto relevante es la diferencia de los valores máximos de flujo de clientes respecto al promedio diario para algunos locales. La tienda ubicada en Mall Plaza Oeste registró en 2016 un peak de 1.821 clientes el día 16 de Abril de 2016, mientras que los días restantes promediaron 494 clientes. A pesar de que el registro es anormal, pues corresponde al percentil 99, se debe tener en cuenta que en general estas observaciones *outliers* se pueden predecir, ya que generalmente son debido a festividades previamente conocidas.

Es importante conocer como se comportan las visitas entre días de la semana, ya que la asignación depende estrictamente del tráfico. En la Tabla 3.4⁴ se muestra un resumen de los estadísticos más relevantes para el flujo de clientes de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Tabla 3.4: Estadísticos de tráfico según día de la semana para ubicada en Easton Outlet Mall

Día de la semana	Obs	Mean	Std. Dev.	Min	Max	P5	P95
Lunes	47	191	96,5	12	522	93	405
Martes	47	182,3	85	75	563	98	304
Miércoles	48	199,7	88	72	664	109	313
Jueves	48	212,6	145,9	71	1025	113	463
Viernes	48	266,3	117,1	125	766	142	487
Sábado	48	677,1	242,2	303	1390	357	1089
Domingo	43	516,4	237,3	180	1257	270	962

Otro aspecto relevante respecto al tráfico de personas, es poder comprender como se com-

⁴Es importante mencionar que se omitieron las observaciones que no tenían tráfico, ya que eran principalmente en días feriados o en días que no hubo recopilación de información.

portan las visitas durante el día. En la Figura 3.8 se muestra para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall el promedio de tráfico de clientes según bloque horario y día de la semana. Se puede observar que los días Sábado y Domingo durante la tarde son los horarios con mas afluencia de público, de hecho, es considerablemente más elevada respecto a los días de semana durante la mañana.

Trafico promedio de tienda Ficcus Easton Outlet Mall	09:00 - 12:00	12:00 - 15:00	15:00 - 18:00	18:00 - 21:00
Lunes	19,02	56,00	70,19	41,77
Martes	21,04	54,02	64,35	39,04
Miercoles	29,77	63,50	64,58	41,88
Jueves	25,90	65,02	74,65	47,04
Viernes	30,35	75,23	92,02	68,73
Sabado	64,33	219,67	248,75	144,31
Domingo	36,72	155,96	188,91	101,17

Figura 3.8: Tráfico promedio de clientes según bloque horario y día de la semana de tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Capítulo 4

Estimación del efecto de vendedores en las tiendas

En el presente capítulo se muestra la metodología mediante la cual se estimaron los niveles de ventas esperados según tienda, día de la semana y hora del día, además del efecto causal en ventas que reporta una hora de trabajo más o menos dependiendo del día y bloque horario.

Para corregir el problema de endogeneidad mencionado en la sección 1.1, se considera el tráfico como una fuente exógena de demanda por servicios que puede potencialmente convertirse en ventas. Esto, ya que el factor de conversión está afectado directamente por el nivel de servicio que perciben los clientes durante la visita a una tienda, por lo tanto, el personal en tienda es un factor determinante de la conversión, pero endógeno en el análisis de conversión.

Es precisamente el nivel de servicio el factor más relevante que se utilizó para estimar el impacto adicional de un trabajador en un cierto instante del día. Como bien se mencionó anteriormente, el factor de conversión se ve afectado por la atención que recibe el cliente, por lo tanto, mientras más disponibilidad para atender clientes tengan los vendedores de la tienda, será más probable que las nuevas personas que ingresen a la tienda compren algún artículo.

Para medir el nivel de servicio, se utilizó el ratio entre la cantidad de clientes en tienda sobre la cantidad de trabajadores en tienda. De esta manera, el ratio representa el nivel de utilización que tiene la fuerza de ventas en un determinado instante. Es así como valores mayores de este ratio representan sobreutilización de los vendedores, mientras que valores inferiores reflejan periodos de subutilización de la fuerza de ventas. De la misma manera, una gran varianza representa un desbalance de la dotación de personal durante el día o entre días.

Con el propósito de estimar el efecto causal de adicionar o restar una hora de trabajo en un cierto instante, se utilizó un modelo de Poisson que explica la cantidad de transacciones

en función del ratio clientes-trabajadores principalmente, además de diversos controles, como tienda, clima, día de la semana, bloque horario, entre otros.

Antes de explicar con mayor detalle el modelo, es necesario aclarar un aspecto importante respecto al ratio clientes-trabajadores. Para poder estimar esta métrica, fue necesario estimar la cantidad promedio de clientes en tienda, ya que con la información con la que se contaba no era posible concluir cuanto tiempo estuvo dentro de un local un determinado cliente.

A continuación se explica con mayor profundidad el modelo econométrico.

4.1. Modelo de Poisson

Para estimar el impacto marginal de un vendedor más sobre las ventas, se utilizó un modelo de Poisson, en el cual la cantidad de transacciones es la variable dependiente y el ratio clientes-trabajadores junto a su interacción cuadrática son las variables independientes:

$$\text{Transacciones} \sim \text{Poisson}(\lambda_{sdb})$$

$$\lambda_{sdb} = \beta_0 * \exp(\beta_1 * \text{Ratio} + \beta_2 * \text{Ratio}^2 + \text{Tráfico} + \text{Controles})$$

4.1.1. Variable dependiente

Se utilizó la cantidad de transacciones por tienda, día y bloque horario como variable dependiente ($\text{Transacciones}_{sdb}$).

4.1.2. Variables independientes

Cuando un cliente entra a una tienda motivado a hacer una compra, es atendido por un vendedor que lo asesora en el proceso de compra. El cliente decidirá comprar o no el producto de acuerdo a varios factores que puedan afectar su decisión, como el precio, la calidad del producto, la calidad de la atención, entre otros. De los factores mencionados previamente, la calidad de la atención está directamente relacionado con los vendedores en tienda.

Si un vendedor puede dedicar la totalidad de su tiempo a un solo cliente, puede sin lugar a dudas, brindarle un mejor servicio y aumentar la probabilidad de compra del cliente. Es por lo tanto muy importante considerar el nivel de servicio como un factor importante en el proceso.

El nivel de servicio dependerá de la cantidad de vendedores y clientes en tienda. Si hay muchos clientes respecto a vendedores, algunos no serán bien atendidos o incluso puede que nunca sean asesorados. Es así como surge la idea de considerar la utilización de los vendedores como variable explicativa del modelo.

De acuerdo a la literatura previa sobre modelos econométricos que permitan cuantificar impacto en ventas de los vendedores (e.g Chuang et al. [1] y Perdikaki et al. [7]), el efecto de un vendedor adicional dependerá del nivel de flujo de clientes y de la cantidad previa de trabajadores, por lo tanto nada asegura que pasar de uno a dos vendedores reporte el mismo efecto marginal en ventas que pasar de cinco a seis trabajadores. Esta idea significa que el efecto del nivel de utilización puede ser no lineal, debido a la saturación de vendedores en una sala de ventas. Es así como surge la idea de incluir como variable independiente el nivel de servicio y el nivel cuadrático de servicio.

Es por lo anterior, que se utilizaron las siguientes tres variables independientes:

- Ratio
- Ratio²
- Tráfico

Para efectos del modelo a estimar, el coeficiente asociado a tráfico se fijó en uno, utilizando el comando *exposure* de Stata.

4.1.3. Controles

Es de esperar que no todas las salas de ventas tengan un comportamiento similar, de hecho Fisher et al. [3] en su metodología de tres etapas considera el efecto intrínseco de cada tienda, por lo tanto fue necesario controlar por tienda en el modelo. Análogamente, es de esperar que los fines de semana se venda más que en la semana, que más personas visiten una tienda por la tarde que durante la mañana y que existan semanas del año en las cuales las ventas suban o bajen considerablemente, como navidad por ejemplo.

Finalmente, el control más importante utilizado en el modelo, es la cantidad de trabajadores programados. El trabajo reciente de Fisher et al. [3] muestra que el nivel de trabajadores es un factor endógeno sobre las ventas. Dado lo anterior, resulta necesario utilizar la cantidad de vendedores que realmente asistieron como variable del nivel de servicio y controlar por la cantidad de trabajadores programados, aprovechando así el descalce que puede haber debido a inasistencias, entre otros.

Con el objetivo de evitar problemas de endogeneidad por variable omitida, se controló por una gran cantidad de variables. A continuación se muestra la lista de controles del modelo:

- Tienda
- Día de la semana
- Bloque horario¹

¹Son cuatro bloques horarios: 09:00 - 12:00, 12:00 - 15:00, 15:00 - 18:00, 18:00 - 21:00

- Lluvia²
- Trabajadores programados
- Semana del año

4.2. Ratio de medición

Con el objetivo de estimar el impacto en las ventas de un trabajador más, se buscó establecer una relación entre la cantidad estimada de clientes en tienda y el número de vendedores en el local. Es por lo anterior, que se definió para cada tienda s , día d y bloque horario b el ratio de clientes sobre trabajadores

$$Ratio_{sdb} = \frac{\hat{C}_{sdb}}{L_{sdb}}$$

Con \hat{C}_{sdb} la estimación de clientes en tienda para la tienda s del día d en el bloque horario b y L_{sdb} la cantidad promedio de horas de trabajo que hubo en la tienda s del día d en el bloque horario b .

Esta métrica de evaluación permite entender el resultado como el nivel de utilización de los trabajadores. Un mayor nivel de este ratio significa que la fuerza de ventas tiene que atender más clientes que en un momento en el que el ratio es menor. Es más, un nivel mayor a 1 significa que en promedio un trabajador debe atender a más de un cliente, mientras que un nivel menor que uno significa que en promedio cada trabajador atiende menos de un cliente.

No obstante lo anterior, la conclusión más importante que resulta de analizar el ratio previamente definido, es que entre mas varianza exista en el ratio propuesto durante el día y entre días de la semana, significa que la dotación de personal esta más desbalanceada. Asimismo, una dotación desbalanceada significa que no se está asignando de manera óptima la dotación.

A continuación se muestran los valores del ratio promedio para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall según día de la semana y bloque horario.

De la Figura 4.1 se observa que los vendedores los días Sábados y Domingos tienen en promedio una cantidad de carga laboral considerablemente mayor respecto a los horarios menos congestionados, como las mañanas de Lunes a Viernes. Además, los fines de semana también son los días con mas varianza del ratio entre el horario de la mañana y la tarde. La interpretación de lo anterior es que la dotación de personal en aquellos días no está alineada con el tráfico de clientes, ya que la cantidad promedio de clientes en tienda aumenta en mayor proporción que los vendedores del local.

²Sólo se tenía información de clima para Santiago, por lo tanto no se controló por lluvia en las tiendas ubicadas en Antofagasta y Viña del Mar.

Ratio según día de la semana y bloque horario	9:00 - 12:00	12:00 - 15:00	15:00 - 18:00	18:00 - 21:00
Lunes	0,4369989	0,8817593	1,215303	0,7220042
Martes	0,4692368	0,8390205	1,000448	0,6469424
Miercoles	0,5800927	0,8781827	0,9580233	0,6026775
Jueves	0,6523336	0,9828148	1,164776	0,7499647
Viernes	0,6364205	0,9611641	1,274931	1,070013
Sabado	0,8813052	1,922615	2,354539	1,44438
Domingo	0,7022129	1,976092	2,606495	1,578136

Figura 4.1: Cálculo de ratio promedio según día de la semana y bloque horario para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

4.3. Estimación de clientes en tienda

Para estimar el ratio clientes-trabajadores y así poder concluir sobre el impacto de un trabajador más en tienda, fue necesario estimar la cantidad de clientes promedio en tienda en cualquier instante del tiempo, esto con el objetivo de estudiar el desbalance de dotación respecto a los clientes y el efecto en las ventas. Cabe destacar que para realizar esta estimación, se contaba con una base de datos que contenía el momento exacto de las entradas y salidas para cada una de las 15 tiendas que se estudiaron. En total, esta base de datos estaba compuesta por 20.175.982 observaciones.

4.3.1. Estimación de tiempo de permanencia en tienda

El enfoque utilizado para la estimación de clientes en tienda, requiere conocer el tiempo promedio de estadía. Para conocer el tiempo de estadía, se utilizó el mismo procedimiento utilizado en Lu et al. [5]. La metodología consiste en agrupar las entradas y salidas de cada tienda en intervalos de dos minutos y discretizar las estadías en duraciones de dos minutos. En otras palabras, si denotamos por T una variable aleatoria que representa el tiempo de estadía de un cliente en tienda, con dominio en $\{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12\}$; $T = 1$ corresponde a una visita con duración entre 0 y 2 minutos, mientras que $T = 2$ corresponde a una visita con duración mayor a 2 minutos pero menos que 4 minutos. Luego, se define $\beta_t = Pr(T = t)$ como la probabilidad de que un cliente haya estado t minutos en tienda.

Luego, sean X_t las entradas observadas a una tienda durante el periodo t y Y_t las salidas observadas de una tienda en el periodo t , la distribución del tiempo de estadía puede ser estimada mediante la siguiente regresión lineal

$$Y_t = \sum_{s=1}^{s=12} X_{t-s} \beta_s + \varepsilon$$

Los parámetros β_t representan la proporción de clientes que estuvo t minutos en tienda. A continuación, en la figura 4.2 se muestra un ejemplo del procedimiento mencionado previamente. En este caso hipotético, hubo 6 salidas en t , que dependen de las llegadas de los

3 intervalos inmediatamente previos. El parámetro β_{t-1} representa la proporción de clientes que entraron en el intervalo $t - 1$ y se fueron en el intervalo t , en este ejemplo la mitad de los clientes se fue en el siguiente intervalo. El parámetro β_{t-2} representa la proporción de clientes que entraron en el intervalo $t - 2$ y se fueron en t , en este caso 3 de 4. Finalmente, β_{t-3} representa la proporción de clientes que entraron en $t - 3$ y se fueron en t , en este caso 1 de 3. Con esto se obtiene una correlación entre las salidas en t y las llegadas de los 3 intervalos de tiempo previos.

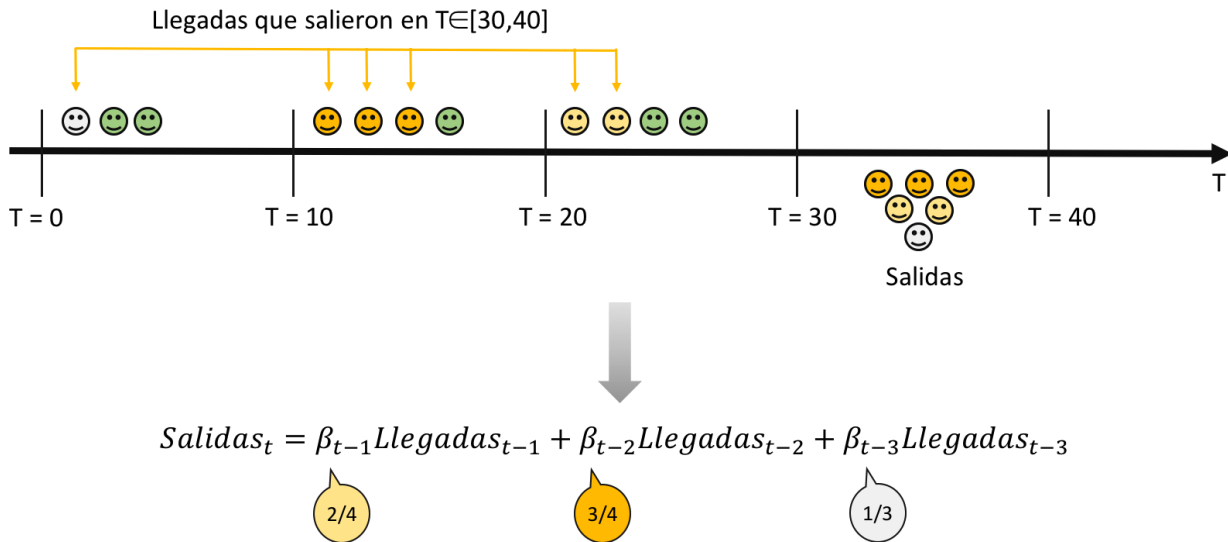


Figura 4.2: Ejemplo de estimación de tiempo de estadía de clientes en tienda.

A continuación se muestran los resultados para la estimación de la distribución de tiempos de estadía para los clientes de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

De la tabla de resultados se puede concluir que un 31,26 % de los clientes que ingresa a la tienda está aproximadamente dos minutos en el interior, luego un 14,16 % tarda entre dos y cuatro minutos al interior. Finalmente, existe una gran proporción de clientes que se quedan intervalos de tiempos mas extensos.

	(Lunes a Viernes)	(Sábado y Domingo)	(Total)
	salida	salida	salida
0-2 Minutos	0.319*** (0.00528)	0.297*** (0.00462)	0.313*** (0.00346)
2-4 Minutos	0.142*** (0.00529)	0.137*** (0.00466)	0.142*** (0.00348)
4-6 Minutos	0.113*** (0.00528)	0.0786*** (0.00470)	0.103*** (0.00348)
6-8 Minutos	0.0763*** (0.00529)	0.0768*** (0.00470)	0.0780*** (0.00349)
8-10 Minutos	0.0563*** (0.00530)	0.0663*** (0.00470)	0.0614*** (0.00349)
10-12 Minutos	0.0553*** (0.00529)	0.0552*** (0.00470)	0.0567*** (0.00349)
12-14 Minutos	0.0456*** (0.00529)	0.0490*** (0.00469)	0.0482*** (0.00349)
14-16 Minutos	0.0361*** (0.00528)	0.0296*** (0.00469)	0.0351*** (0.00348)
16-18 Minutos	0.0399*** (0.00527)	0.0355*** (0.00468)	0.0399*** (0.00347)
18-20 Minutos	0.0425*** (0.00527)	0.0236*** (0.00468)	0.0373*** (0.00348)
20-22 Minutos	0.0315*** (0.00526)	0.0356*** (0.00467)	0.0345*** (0.00347)
22-24 Minutos	0.0121* (0.00523)	0.0249*** (0.00465)	0.0180*** (0.00345)
Constante	0.0668*** (0.0115)	0.0619*** (0.00627)	0.0482*** (0.00564)
N	30888	41256	72144
adj. R^2	0.461	0.263	0.442

Standard errors in parentheses

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Ponderando los resultados de la tabla por dos minutos³, se puede calcular el tiempo promedio de estadía en tienda de un cliente. Para el caso de Easton Outlet Mall, el resultado es

³Las entradas y salidas fueron agrupadas en intervalos de dos minutos, es por esta razón que se ponderan los resultados por dos minutos.

de 7 minutos con 37 segundos.

En la Figura 4.3 se muestra la distribución del tiempo de permanencia de los clientes en tienda para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall. Este resultado es interesante pues muestra un comportamiento relativamente estable de clientes que una vez dentro de la tienda, permanecen más de dos minutos, pero hay otra gran fracción que se va antes de transcurridos dos minutos.

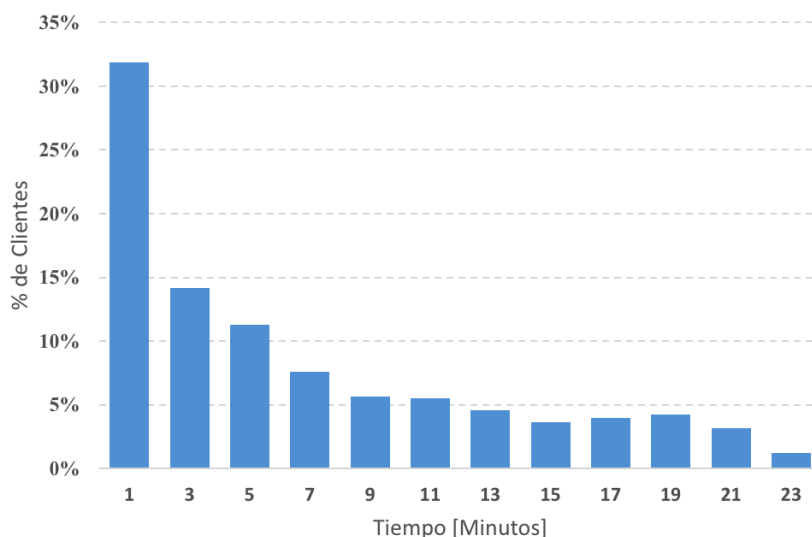


Figura 4.3: Distribución de tiempos de permanencia de clientes en tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Finalmente, conociendo el tiempo promedio de estadía de los clientes en el sistema, además del flujo promedio por hora para cada tienda, día de la semana y hora del día, se puede estimar la cantidad de clientes dentro de una tienda utilizando la Ley de Little:

$$Clientes\ promedio\ en\ tienda = Tiempo\ Promedio \times Flujo\ de\ clientes$$

A continuación, en la Figura 4.4 se muestran los resultados de la estimación de la cantidad de clientes promedio para una tienda, según bloque horario y día de la semana.

Estimación de clientes promedio en tienda	9:00 - 12:00	12:00 - 15:00	15:00 - 18:00	18:00 - 21:00
Lunes	0,81	2,37	2,97	1,77
Martes	0,89	2,29	2,72	1,65
Miercoles	1,26	2,69	2,73	1,77
Jueves	1,10	2,75	3,16	1,99
Viernes	1,28	3,18	3,90	2,91
Sabado	2,72	9,30	10,53	6,11
Domingo	1,55	6,60	8,00	4,28

Figura 4.4: Resultados de estimación de cantidad de clientes promedio en tienda según día de la semana y bloque horario, para ubicada en Easton Outlet Mall.

4.3.2. Métodos alternativos

Se evaluaron métodos alternativos que permiten estimar la cantidad promedio de clientes en tienda en un cierto instante del tiempo. A continuación se explica en detalle cada uno de los métodos utilizados:

- **Inventario de clientes:** Con la base de datos de tráfico, que cuenta con el momento exacto de entradas y salidas, se calculó un registro de la cantidad de clientes en cualquier instante del tiempo. No obstante, este procedimiento tiene un gran inconveniente. Como las entradas y salidas a la tienda no calzan perfectamente⁴, la cantidad de clientes en tienda no era cero al final del día, por lo tanto este método no era del todo confiable.

Para solucionar el problema anterior, se consideró arbitrariamente que la cantidad de entradas era el número correcto⁵, por lo tanto las salidas debían ajustarse a las entradas.

Para ajustar las salidas a las entradas, se calculó el inventario de clientes en cualquier instante del tiempo, pero sin permitir inventario negativo. En otras palabras, si en un determinado momento había un cliente en tienda, y el siguiente evento fue una salida, entonces el inventario pasaría a ser de cero clientes. Luego, si el siguiente evento fue una salida, el inventario seguiría siendo de cero clientes, es decir, se ignoraba el evento, mientras que si el siguiente evento era una entrada, el inventario pasaría a ser de un cliente en tienda.

Con el ajuste explicado previamente, se evita tener cantidades negativas de cliente en tienda, que lógicamente no son posibles. No obstante, para algunas tiendas la cantidad de entradas era mayor que la cantidad de salidas⁶, por lo tanto este ajuste de no considerar inventarios negativos no presenta una solución para esos casos, por lo tanto fue necesario idear una forma de controlar la propagación de errores. Es así como se llegó al ajuste de reiniciar el inventario cada 3 horas, al comienzo de cada bloque horario. Reiniciando la cantidad de clientes en tienda cada 3 horas, se evita que el error de conteo se propague durante el resto del día, y se limita a propagaciones de no más de tres horas.

Es así como se obtuvo una estimación de la cantidad de clientes que había en tienda en cualquier instante del tiempo del año 2016.

⁴Ver figura 3.7.

⁵Sin realizar pruebas, no es posible saber a ciencia cierta que campo es más confiable, si entradas o salidas.

⁶Ver figura 3.7.

- **Estimación de tiempo mediante inventario de clientes:** Otro método utilizado fue estimar el tiempo de estadía en tienda utilizando los resultados anteriores de inventario de clientes en tienda. Con la cantidad de clientes estimados en tienda, se estimó el tiempo de permanencia mediante la Ley de Little. Una vez calculados los tiempos de estadía, se estimaron mediante la siguiente regresión lineal, con el objetivo de poder utilizar estos resultados con miras hacia el futuro:

$$T_{sdb} = \sum_{s \in S} \text{Tienda}_s + \sum_{d \in D} \text{Día}_d + \sum_{b \in B} \text{Bloque}_b + \varepsilon_{sdb}$$

Donde T_{sdb} es el tiempo estimado de estadía de un cliente en la tienda s , el día de la semana d , durante el bloque horario b .⁷

Con esta estimación de tiempo de estadía en tienda, se multiplicó el tiempo por el flujo de entrada de clientes por tienda y se obtuvo una nueva estimación de inventario de clientes en tienda.

4.4. Resultados

Se estimaron los modelos de Poisson utilizando tres métodos distintos para medir el ratio clientes-trabajadores. El modelo 1 corresponde al ratio calculado con la metodología de inventario de clientes, el modelo 2 corresponde al ratio calculado mediante la metodología de estimar el tiempo utilizando el inventario de clientes, mientras que el modelo 3 corresponde al ratio calculado con la metodología de estimar la duración de la estadía con series de tiempo y luego aplicar Ley de Little para obtener el promedio de clientes en tienda estimado. Los resultados se muestran a continuación, en la tabla de resultados.

⁷ S es el conjunto de tiendas, D es el conjunto de días de la semana y B es el conjunto de bloques horarios definidos.

	(1)	(2)	(3)
	ventas	ventas	ventas
ventas			
Ratio1	-0.104*** (0.0237)		
RatioSq 1	0.0156 (0.00865)		
Ratio2		-0.116*** (0.0237)	
RatioSq 2		0.0195* (0.00825)	
Ratio 3			-0.0459*** (0.00576)
RatioSq 3			0.00298*** (0.000521)
_cons	-0.926*** (0.0598)	-1.021*** (0.142)	-1.049*** (0.142)
<i>N</i>	8719	9665	10101
pseudo R^2	0.200	0.205	0.203
<i>AIC</i>	50101.7	55256.1	57455.3
<i>BIC</i>	50618.0	55787.2	57989.6

Standard errors in parentheses

* $p < 0,05$, ** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Se puede observar que en las tres estimaciones, el coeficiente asociado al termino lineal del ratio es negativo, mientras que el coeficiente asociado al termino cuadrático es positivo. Interpretar este resultado es un tanto difícil y quizás poco intuitivo, por lo tanto se interpretará desde la perspectiva de agregar y quitar trabajadores. No obstante, es relevante mencionar que para el modelo 1, el coeficiente cuadrático no es significativo, para el modelo 2 el coeficiente cuadrático es significativo solamente con un 95 % de confianza, mientras que para el modelo 3, ambos coeficientes son significativos con un 99 % de confianza.

Si bien los coeficientes tienen la misma estructura en cuanto a signos, y una escala que podría llamarse similar, es necesario evaluar cual de ellos es un mejor modelo estimador de ventas. En términos de *Pseudo R^2* , los tres son similares, aunque no sería correcto aplicar esta métrica para elegir un modelo, ya que el *Pseudo R^2* no tiene la misma interpretación que el R^2 de una regresión lineal estimada mediante MCO⁸.

⁸El *Pseudo R^2* está definido como $1 - \frac{L_1}{L_0}$, mientras que el R^2 de una regresión lineal se puede entender como la proporción de varianza explicada por el modelo.

Es por lo anterior que para elegir el modelo a utilizar para la asignación óptima de personal, se consideró relevante que tan significativos eran los coeficientes y que tan robusto fue el procedimiento de construcción del ratio clientes-trabajadores. Es en este último ámbito que el modelo 3 tiene una ventaja absoluta. El ratio clientes-trabajadores utilizado en dicha estimación, fue calculado estimando la duración de estadía en tienda mediante series de tiempo, y luego con Ley de Little se calculó la cantidad promedio de clientes en tienda.

Según lo mencionado anteriormente, se concluyó que el modelo 3 es la mejor opción para calcular el impacto marginal en ventas de un trabajador más en función del tráfico de clientes.

Luego, el impacto de un trabajador adicional se calculó de la siguiente manera:

1. Para cada día de la semana y bloque horario, se calculó el tráfico promedio durante todo el año 2016⁹.
2. Luego, se calculó el valor del ratio para cada día de la semana y bloque horario, de la siguiente manera:

$$\frac{\frac{\text{Tráfico}}{3} * T}{\text{Trabajadores}}$$

Donde la variable tráfico representa el tráfico promedio durante el bloque¹⁰, T representa el tiempo promedio de estadía en tienda, mientras que la variable trabajadores representa la cantidad de vendedores en tienda.

3. Posteriormente, se calculó el valor base de ventas considerando que se debe tener mínimo un vendedor en tienda en todo momento, de la siguiente manera:

$$\text{Valor base} = \exp(\beta_1 * \text{Ratio} + \beta_2 * \text{Ratio}^2 + C)$$

Donde β_1 es el coeficiente asociado al término lineal del ratio, β_2 es el coeficiente asociado al término cuadrático del ratio, mientras que C es la constante del modelo.

4. Luego, con el nivel base de ventas para cada día y bloque horario, considerando un trabajador en tienda, se calculó el aumento porcentual en caso de agregar más trabajadores. Esto se realizó variando la cantidad de vendedores, manteniendo el tráfico constante y considerando el nivel base el cálculo realizado con el mismo nivel de tráfico pero con un solo trabajador. A continuación, en la Tabla 4.1, se muestra un ejemplo del aumento porcentual en ventas para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, durante el día Domingo entre 15:00 y 18:00 horas.

De la tabla 4.1, se puede concluir que agregar un trabajador adicional en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall un día Domingo entre las 15:00 y 18:00 horas, es conveniente en términos de conversión. No obstante, el incremento marginal en ventas es decreciente a medida que se va contratando más vendedores, de hecho, pasar de uno a dos vendedores, reporta un aumento marginal de 4,13 %, mientras que pasar de seis a siete trabajadores, reporta un aumento marginal de 0,83 %. Es importante mencionar

⁹Ver Figura 3.8.

¹⁰Recordar que cada bloque agrupa tres horas, por lo tanto se dividió este valor en tres. De esta manera la unidad de medida de tráfico será por hora y no por tres horas.

Trabajadores	Valor base	Nivel base	Aumento porcentual
1	0,29362194	100 %	-
2	0,30573399	104,13 %	4,13 %
3	0,31651413	107,80 %	3,67 %
4	0,32332727	110,12 %	2,32 %
5	0,32790176	111,67 %	1,56 %
6	0,33116260	112,79 %	1,11 %
7	0,33359811	113,61 %	0,83 %

Tabla 4.1: Impacto marginal de un trabajador más en tienda ubicada en Easton Outlet Mall para un día Domingo entre 15:00 y 18:00.

que el aumento del nivel de ventas depende directamente del tráfico. En la figura 4.5 se muestra que el impacto es mayor a medida que aumenta el tráfico. Para niveles muy bajos de tráfico, el impacto marginal a partir del segundo trabajador es prácticamente nulo, mientras que para niveles altos de tráfico la saturación de trabajadores ocurre prácticamente en el límite de siete vendedores.

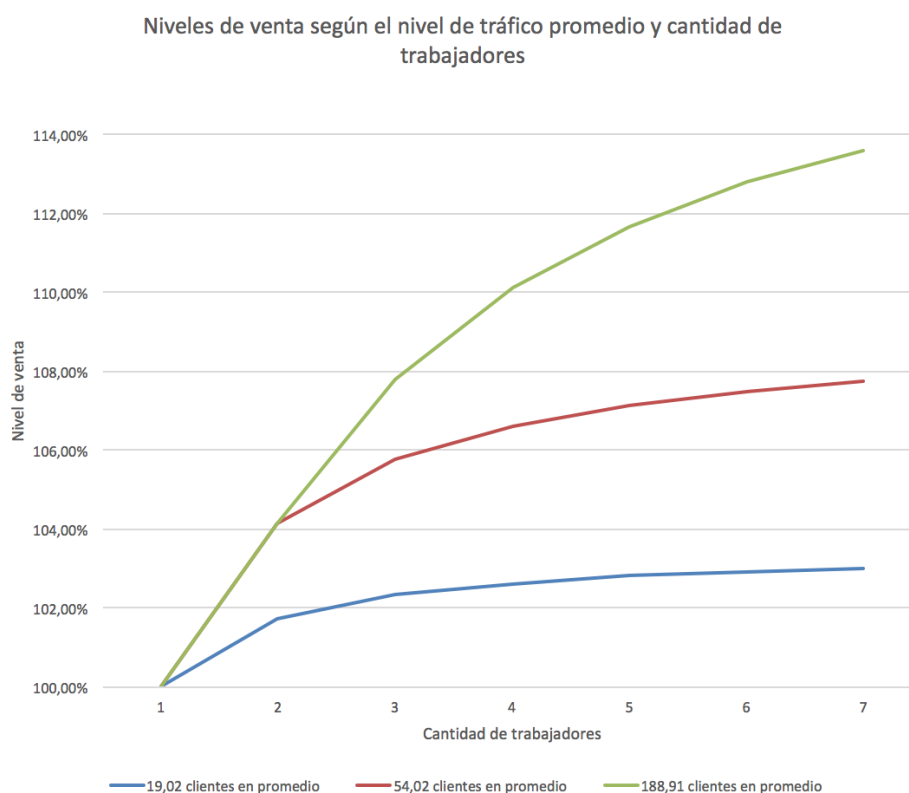


Figura 4.5: Niveles de venta según el tráfico promedio y la cantidad de trabajadores para una cierta tienda.

- Una vez calculados los niveles base, se utilizó la cantidad promedio de trabajadores¹¹ de cada día y bloque horario durante el año 2016¹² para extrapolar los niveles de venta

¹¹Se redondeó la cantidad promedio al entero más cercano.

¹²Ver Figura 3.6.

según la cantidad de vendedores en tienda. A modo de ejemplo, entre 15:00 y 18:00 del día Domingo, en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, hubo en promedio 3 trabajadores, cantidad que equivale a un nivel base de 107,80 %. Luego, la cantidad de ingresos promedio para el mismo bloque horario, de la misma tienda y el mismo día, equivale al 107,80 % del nivel de ventas. Una vez obtenido ese valor, se calcularon los restantes niveles base de utilidades en función de la cantidad de vendedores.

En las Figuras 9.1, 9.2, 9.3 y 9.4 de Anexos se muestran los resultados obtenidos para los niveles de venta según trabajadores de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall. Se observa que los días Sabado y Domingo a partir de las 12:00 es cuando más ventas se esperan, por lo tanto se debería asignar más trabajadores en esos horarios. No obstante, es necesario evaluar el *trade off* de vender más respecto al costo de un trabajador adicional. En el siguiente capítulo se realiza la asignación óptima de vendedores en función de los niveles de ventas calculados en esta sección.

Capítulo 5

Modelamiento del problema de asignación óptima de personal

En el presente capítulo se presenta el modelo de programación lineal entera que se propone para optimizar la dotación de personal en ventas. El objetivo es encontrar la fuerza de ventas óptima que permita maximizar el beneficio de la empresa.

Es importante mencionar que el principal *input* del modelo es el nivel de ventas de una cierta tienda según la cantidad de tráfico esperado¹, que se obtiene del modelo econométrico utilizado para evaluar el impacto causal de una hora de trabajo adicional en un cierto instante.

Es relevante también tener en cuenta que el modelo propuesto requiere especificar explícitamente todas las combinaciones posibles de turnos factibles, ya que son un parámetro en la especificación del modelo.

5.1. Turnos

Para la formulación del problema se dividió cada día en dos jornadas, mañana y tarde.

Se consideraron tres tipos de turnos:

- Turno de 45 horas semanales:
 - Se trabajan cinco días completos, es decir, una jornada de mañana y una jornada de tarde por cinco días y se descansan dos.
- Turno de 10 horas semanales:
 - Se trabaja un día completo, es decir, una jornada de mañana y una jornada de

¹Para efectos de este trabajo de tesis, el tráfico esperado será considerado como el promedio de tráfico del año 2016.

tarde consecutiva.

- Turno de 30 horas semanales:
 - Se trabajan seis bloques de mañana y/o tarde durante la semana.

A continuación se presenta la cantidad posible de opciones para cada tipo de turno.

5.1.1. Turnos de 45 horas semanales

Considerando que este tipo de turnos corresponde a trabajar cinco días completos de siete, existen 21 posibles combinaciones:

$$\binom{7}{2} = \frac{7!}{2! 5!} = 21$$

En la Tabla 5.2 se muestra un ejemplo de turno de 45 horas semanales, en el cual se trabaja de Lunes a Viernes y se descansan dos días consecutivos.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	x	x	x	x	x		
Tarde	x	x	x	x	x		

Tabla 5.1: Ejemplo de turno de 45 horas con dos días de descanso consecutivos.

5.1.2. Turnos de 10 horas semanales

Es un bloque de un día completo, por lo tanto existen 7 posibles combinaciones. A continuación, en la Tabla 5.3 se muestra un ejemplo de turno de 10 horas semanales, en el cual se trabaja el día Domingo.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana							x
Tarde							x

Tabla 5.2: Ejemplo de turno de 10 horas semanales, en el cual se trabaja el día Domingo.

5.1.3. Turnos de 30 horas semanales

Considerando que este tipo de turnos corresponde a trabajar seis bloques de mañana y/o tarde durante una semana, existen 3003 posibles combinaciones.

$$\binom{14}{6} = \frac{14!}{6! 8!} = 3003$$

Estos turnos se pueden descomponer de la siguiente forma:

- **Tres días completos:** Corresponde a un bloque de mañana y uno de tarde tres días a la semana. Existen 35 combinaciones de este tipo de turnos:

$$\binom{7}{3} = \frac{7!}{3! 4!} = 35$$

O equivalentemente:

$$\frac{1}{3!} \left(\frac{14}{2!} \times \frac{12}{2!} \times \frac{10}{2!} \right) = 35$$

A continuación se muestra un ejemplo de un turno de tres días completos en el cual se trabaja Martes, Miércoles y Jueves:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana		x	x	x			
Tarde		x	x	x			

Tabla 5.3: Ejemplo de turno de 30 horas semanales y tres días completos, en el cual se trabaja Martes, Miércoles y Jueves.

- **Dos días completos y dos medios días:** Corresponde a una jornada de mañana y una de tarde consecutivas dos días de la semana, más dos jornadas adicionales de mañana o tarde en días distintos. Existen 840 posibles combinaciones para este tipo de turno:

$$\frac{1}{2!} \left(\frac{14}{2!} \times \frac{12}{2!} \right) \times \frac{1}{2!} (10 \times 8) = 840$$

A continuación se muestra un ejemplo de este tipo de turno, en el cual se trabaja Lunes y Martes completos más la mañana del Jueves y la tarde del viernes.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	x	x		x			
Tarde	x	x			x		

Tabla 5.4: Ejemplo de turno de 30 horas semanales con dos días completos y dos medios días.

- **Un día completo y cuatro medios días:** Corresponde a un día completo más 4 jornadas adicionales de mañana o tarde en días distintos. Existen 1680 posibles combinaciones para este tipo de turno:

$$\frac{14}{2!} \times \frac{1}{4!} (12 \times 10 \times 8 \times 6) = 1680$$

A continuación se muestra un ejemplo para este tipo de turno.

- **Seis medios días:** Corresponde a trabajar seis jornadas de mañana o tarde en días distintos. Existen 448 posibles combinaciones para este tipo de turno:

$$\frac{1}{6!} (14 \times 12 \times 10 \times 8 \times 6 \times 4) = 7 \times 2^6 = 448$$

A continuación se muestra un ejemplo para este tipo de turno.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	x	x	x				
Tarde	x					x	x

Tabla 5.5: Ejemplo de turno de 30 horas semanales, en el cual se trabaja un día completo y 4 medios días.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	x	x	x	x	x	x	
Tarde							

Tabla 5.6: Ejemplo de turno de 30 horas semanales, en el cual se trabajan seis jornadas en días distintos.

Es importante notar que al sumar las combinaciones de los 4 tipos de turnos de 30 horas, se obtienen los 3003 posibles turnos de 30 horas:

$$35 + 840 + 1680 + 448 = 3003$$

De esta forma, se obtiene que hay 3031 posibles combinaciones de turnos factibles:

$$21 + 7 + 3003 = 3031$$

5.2. Parámetros

- U_{djn} : Nivel de ventas durante la jornada j del día d si hay n trabajadores.
- C_{it} : Costo del turno i de tipo t .
- A_{itdj} : $\begin{cases} 1 & \text{Si el turno } i \text{ de tipo } t \text{ considera trabajar en la jornada } j \text{ del día } d. \\ 0 & \text{De lo contrario.} \end{cases}$
- n : Número de trabajadores, con $n \in \mathbb{N} \ \& \ n \leq 7$
- Min_t : Cantidad mínima de turnos de tipo t .
- Max_t : Cantidad máxima de turnos de tipo t .
- DC_i : $\begin{cases} 1 & \text{Si el turno } i \text{ tiene sus días de descanso consecutivos.} \\ 0 & \text{De lo contrario.} \end{cases}$
- DOM_i : $\begin{cases} 1 & \text{Si el turno } i \text{ trabaja el día domingo.} \\ 0 & \text{De lo contrario.} \end{cases}$

Es importante recordar que U_{djn} , el nivel de ventas durante la jornada j del día d si hay n trabajadores, se estima con el modelo econométrico presentado en el capítulo 4, en el cuál mediante un modelo de Poisson y series de tiempo, se estima el impacto de un vendedor adicional dada una tienda, un nivel base de trabajadores y un cierto instante. El *output* de este modelo econométrico, el nivel de ventas durante la jornada j del día d si hay n trabajadores, es el principal *input* del modelo de programación.

5.3. Variables

- X_{it} : Cantidad de turnos i de tipo t .
- Z_{dj} : Cantidad de trabajadores en la jornada j del día d .
- Y_{djn} : $\begin{cases} 1 & \text{si } Z_{dj} = n \\ 0 & \text{si } Z_{dj} \neq n \end{cases}$

5.4. Función objetivo

La función objetivo del problema establece que se debe maximizar el nivel de ventas según la cantidad de turnos asignados, considerando también el costo del turno que se desea asignar.

$$Max \underbrace{\sum_{n=1}^N \sum_{j \in J} \sum_{d \in D} Y_{djn} * U_{djn}}_{Ingresos} - \underbrace{\sum_{t \in T} \sum_{i \in I(t)} X_{it} * C_{it}}_{Costos}$$

5.5. Restricciones

- Se deben asignar los turnos a los días y las jornadas:

$$\sum_{t \in T} \sum_{i \in I(t)} X_{it} * A_{itdj} = Z_{dj} \quad \forall d \in D, j \in J$$

- Para linealizar la función objetivo, se utilizan las siguientes dos restricciones:

$$\sum_{n=1}^N Y_{djn} = 1 \quad \forall d \in D, j \in J$$

$$\sum_{n=1}^N n * Y_{djn} = Z_{dj} \quad \forall d \in D, j \in J$$

- Cantidad mínima de turnos de tipo t :

$$\sum_{i \in I(t)} X_{it} \geq Min_t$$

- Cantidad máxima de turnos de tipo t :

$$\sum_{i \in I(t)} X_{it} \leq Max_t$$

- Los días de descanso deben ser consecutivos:

$$(1 - DC_i) * X_{it} * X_{it} = 0 \quad \forall i \in I(t) \wedge t \text{ es un turno de tipo 45 horas semanales}$$

- No se trabajan domingos consecutivos:

$$\sum_{i \in I(t)} X_{it} * DOM_i \leq \sum_{i \in I(t)} X_{it} * (1 - DOM_i) \quad \text{tal que } t \text{ es un turno de tipo 45 horas semanales}$$

Respecto a esta última restricción, es importante mencionar que para un mismo turno de 45 horas no restringe la cantidad de Domingos trabajados. Lo que hace esta restricción, es limitar la cantidad de turnos de 45 horas que trabajan un Domingo y obligar a que sean menos que la cantidad de turnos de 45 horas que no trabajan un día Domingo. Con lo anterior, se puede intercalar la asignación de turnos con los vendedores y cumplir con la ley de trabajo dominical.

Capítulo 6

Resolución del modelo

En el presente capítulo se presenta la resolución del modelo¹ de programación lineal entera planteado en el capítulo anterior. El modelo se programó en Julia V0.6.1 y fue resuelto en Gurobi 7.5.2 en un computador con Windows 7 con un procesador Intel Core i7 de 3.50GHz y 16 GB de memoria RAM.

6.1. Solución óptima del problema

En una primera instancia, se resolvió el problema de optimización sin considerar la existencia de turnos. En otras palabras, se resolvió el problema considerando que se pueden agregar según sea necesario horas de trabajo donde sea más conveniente. La intuición es que se optimiza cada bloque horario por separado, agregando vendedores hasta que el costo salarial de agregar uno más, sea superior al beneficio en ventas que genera.

A continuación, en la Tabla 6.1 se muestra la configuración óptima que debiese tener la tienda si fuera posible agregar horas de trabajo a discreción, es decir, sin ninguna restricción². Es importante notar que de esta solución se obtiene que la cantidad óptima de horas de trabajo para esta tienda es de 246 horas de trabajo por semana.

De la Tabla 6.1 se observa que el modelo propone tener la cantidad mínima de trabajadores en aquellos bloques en que las ventas son muy escasas, como las mañanas de Lunes a Viernes. En los horarios más concurridos sugiere asignar la cantidad máxima de trabajadores, en este caso siete. Esto porque un trabajador adicional genera un impacto en la conversión tal que multiplicado por el nivel de tráfico, lo hace económicamente conveniente.

¹Se resolvió el problema para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

²Agregar horas a discreción significa encontrar la cantidad óptima de horas de trabajo necesarias y utilizar esa configuración. A modo de ejemplo, si es necesario pasar de 2 vendedores a 6 y luego a 1, sería una configuración perfectamente factible, a pesar de que en la realidad esto sea infactible.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
09:00 - 12:00	1	1	1	1	1	2	1
12:00 - 15:00	2	2	2	3	3	7	6
15:00 - 18:00	3	3	3	3	4	7	7
18:00 - 21:00	2	1	2	2	2	6	4

Tabla 6.1: Asignación óptima de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

No obstante lo anterior, es necesario aclarar que esta configuración no es del todo factible en la realidad, ya que no es posible contratar personas por bloques de tres horas y asignarles horarios irracionales como asistir solamente tres horas un día entre 09:00 y 12:00 y luego tres horas por la tarde entre 18:00 y 21:00. Además, no es aconsejable programar solamente un trabajador, principalmente por dos razones. En primer lugar, un trabajador puede faltar al trabajo y dejar la tienda sin personal. En segundo lugar, si solamente hay un trabajador en tienda, sería complicado para el poder asistir al baño, ya que los centros comerciales exigen que las tiendas deben estar abiertas durante el horario establecido, y también sería complicado ir a la bodega si fuera necesario, porque no pueden dejar la tienda descuidada mientras está abierta.

Es por lo anterior que el problema debe resolverse considerando la existencia de los turnos³ mencionados en el capítulo anterior

6.2. Solución ideal del problema

En la presente sección se muestra la resolución del problema considerando que se debe cumplir con las especificaciones de los turnos⁴ factibles. Para esta configuración se consideró cada día como dos bloques, uno de mañana y uno de tarde, con el objetivo de utilizar la misma configuración utilizada en los turnos.

A continuación, en la Tabla 6.2 se presenta la dotación ideal⁵ de personal que debiese tener la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, considerando que los días de descanso deben ser consecutivos y que los Domingos trabajados deben ser alternados para turnos de 45 horas semanales.

Para realizar la asignación ideal de la Tabla 6.2, se necesita la siguiente configuración de turnos:

- Tres turnos de 45 horas semanales:

³Ver sección 4.1.

⁴Ver sección 4.1.

⁵En este caso no se restringió según la cantidad mínima o máxima de tipos de turno que se desea tener, pues eso llevaría a una solución peor que la ideal.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	2	2	2	3	3	7	5
Tarde	2	2	2	3	4	7	6

Tabla 6.2: Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

- Dos turnos con descanso los Lunes y Domingos.
- Un turno con descanso los Martes y Miércoles.
- Siete turnos de 10 horas semanales:
 - Tres turnos que trabajan todos los Sábados.
 - Cuatro turnos que trabajan todos los Domingos.
- Un turno de 30 horas semanales:
 - Un turno que trabaja Lunes y Sábado todo el día, además de Viernes y Domingo durante la tarde.

A continuación, en la Figura 6.1, se muestra la especificación de turnos mencionados previamente, que son necesarios para satisfacer la asignación óptima de la fuerza de ventas.

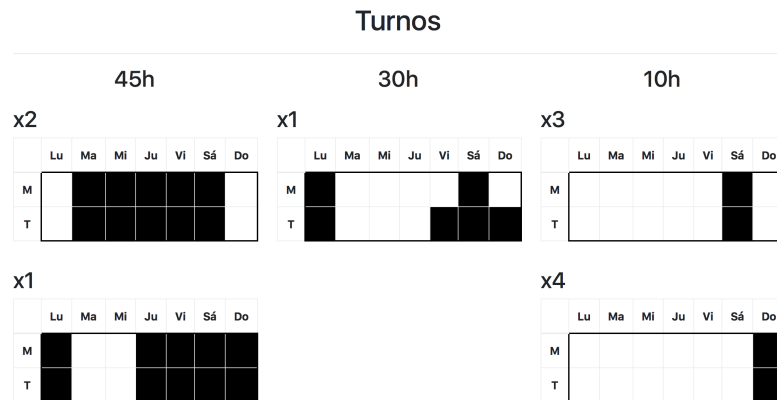


Figura 6.1: Esquema de turnos óptimos de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

6.3. Comparación de situación actual y situación óptima

En esta sección, se presenta una comparación entre la situación actual⁶, la solución óptima⁷, y la solución ideal⁸ del problema. A continuación, en la Figura 6.2, se presenta la diferencia de la dotación promedio del año 2016, respecto a la solución óptima del problema.

Sobre el descalce de dotación presentado en la Figura 6.2, hay varios aspectos importantes. En primer lugar, se observa un descalce sistemático en ciertas horas del día. Por ejemplo,

⁶Ver Figura 3.7.

⁷Ver sección 6.1.

⁸Ver sección 6.2.

Bloque horario	Lunes	Martes	Miercoles	Jueves	Viernes	Sabado	Domingo
09:00 - 12:00	0,7	0,7	0,9	0,7	1,1	1,3	1,4
12:00 - 15:00	0,5	0,4	0,7	-0,5	0,1	-2,1	-2,5
15:00 - 18:00	-0,6	-0,5	-0,3	-0,5	-1,0	-2,5	-3,7
18:00 - 21:00	0,2	1,1	0,5	0,3	0,7	-1,9	-1,1

Figura 6.2: Diferencia de dotación promedio de la tienda ubicada en Easton Outlet Mall durante el año 2016, respecto a la dotación óptima.

entre 09:00 y 12:00, todos los días de la semana, la tienda estuvo sobre dotada, ya que hubo en promedio más trabajadores de los que realmente eran necesarios en esas horas del día. Análogamente, en las horas con más afluencia de público, también hubo un descalce sistemático, pero en dichos horarios la tienda estuvo constantemente sub dotada, pues hubo en promedio menos vendedores de los que realmente son necesarios. Esto último, está estrechamente relacionado con Fisher et al. [4], ya que en las horas *peak* se está constantemente sub dotado.

No obstante, es necesario mencionar lo siguiente respecto a la sobre dotación en horarios con menos afluencia de público. En el modelamiento del problema, se consideró que la cantidad mínima de trabajadores en tienda debe ser uno, pero esto no necesariamente debe ser así, ya que un trabajador podría faltar a trabajar sin previo aviso y dejar la tienda sin atención, o tendría dificultades para ir a bodega o al baño mientras esté solo, ya que no puede dejar la tienda abierta sin cuidado.

Otro aspecto importante, es la cantidad de horas de trabajo necesarias. La configuración óptima requiere 246 horas de trabajo semanales, mientras que en 2016 hubo en promedio 228,6 horas de trabajo cada semana. En otras palabras, se puede concluir que la tienda estuvo constantemente sub dotada en 17,4 horas semanales en promedio. Los efectos de este descalce de dotación se pueden ver en Mani et al. [6].

6.4. Análisis de sensibilidad

En la presente sección, se presentan variaciones de los parámetros que puede elegir el cliente. Se evaluará como es la solución si se permite que los días de descanso de los turnos de 45 horas semanales sean no necesariamente consecutivos, además de ver como se ve afectada la solución si se eliminan ciertos tipos de turnos de la configuración factible. Para esta sección, será necesario recordar que la configuración ideal presentada previamente no limita la cantidad mínima ni máxima de turnos y exige que los días de descanso sean consecutivos para turnos de 45 horas semanales, además de alternar necesariamente los domingos trabajados.

Sobre el último punto, es necesario aclarar lo siguiente. En el modelo matemático del problema, se asume que todos los trabajadores son homogéneos, es decir, que un trabajador

contratado en una modalidad de 45 horas semanales, se comporta exactamente igual en tienda que un trabajador contratado solamente por 10 horas semanales. En realidad, esto no es así, ya que cada trabajador tiene características distintas que no fueron incorporadas como restricciones ni penalizaciones en el modelo.

Es precisamente por lo anterior, que resulta interesante evaluar como cambia la solución ideal presentada en la sección anterior si se eliminan ciertos tipos de turnos.

6.4.1. Permitir días de descanso no consecutivos

A continuación, en la Tabla 6.3, se presenta como es la solución óptima si se permite que los turnos de 45 horas semanales no tengan necesariamente los días de descanso consecutivos⁹.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	2	2	2	2	3	7	5
Tarde	3	2	2	3	4	7	6

Tabla 6.3: Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, si se permiten días de descanso no consecutivos.

Para satisfacer esta configuración, es necesario tener la siguiente estructura de turnos, que se muestra gráficamente en la Figura 6.3:

- **Tres turnos de 45 horas semanales:**
 - Un turno con descanso los días Lunes y Jueves.
 - Un turno con descanso los días Martes y Domingo.
 - Un turno con descanso los días Miércoles y Domingo.
- **Siete turnos de 10 horas semanales:**
 - Tres turnos que trabajen el día Sábado.
 - Cuatro turnos que trabajen el día Domingo.
- **Un turno de 30 horas semanales:**
 - Un turno que trabaja el día Sábado todo el día y las tardes de los días Lunes, Jueves, Viernes y Sábado.

6.4.2. Eliminar turnos *part time*

A continuación, en la Tabla 6.4, se presenta como es la solución óptima si se eliminan los turnos *part time*, es decir, solamente se permiten turnos de 45 horas semanales¹⁰.

⁹No se limitó la cantidad mínima ni máxima de los distintos tipos de turno y se mantiene la restricción de alternar los Domingos trabajados.

¹⁰Se permiten turnos de 45 horas semanales con días de descanso consecutivos y alternando los domingos trabajados.

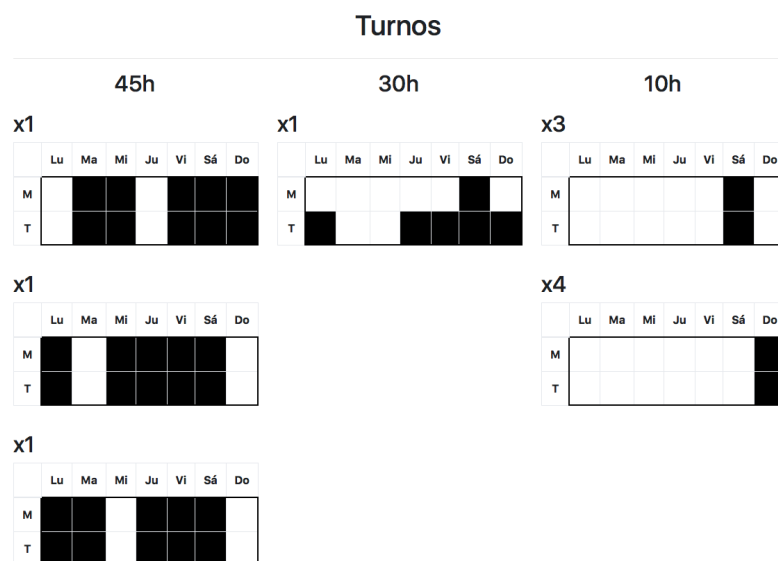


Figura 6.3: Esquema de turnos óptimos si se permiten días de descanso no consecutivos en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	3	4	4	5	5	6	3
Tarde	3	4	4	5	5	6	3

Tabla 6.4: Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, si se eliminan turnos *part time*.

Para satisfacer esta configuración, es necesario tener la siguiente estructura de turnos, que se muestra gráficamente en la Figura 6.4:

- **Seis turnos de 45 horas semanales:**
 - Tres turnos con descanso los días Lunes y Domingo.
 - Dos turnos con descanso los días Martes y Miércoles.
 - Un turno con descanso los días Jueves y Viernes.

6.4.3. Eliminar turnos de 45 horas semanales

A continuación, en la Tabla 6.5, se presenta como es la solución óptima si se eliminan los turnos de 45 horas semanales, es decir, solamente se permiten turnos *part time* de 30 y 10 horas semanales.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana	2	2	2	2	3	7	5
Tarde	3	2	2	3	4	7	6

Tabla 6.5: Asignación ideal de fuerza de venta para la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, si se eliminan los turnos de 45 horas semanales.

Turnos

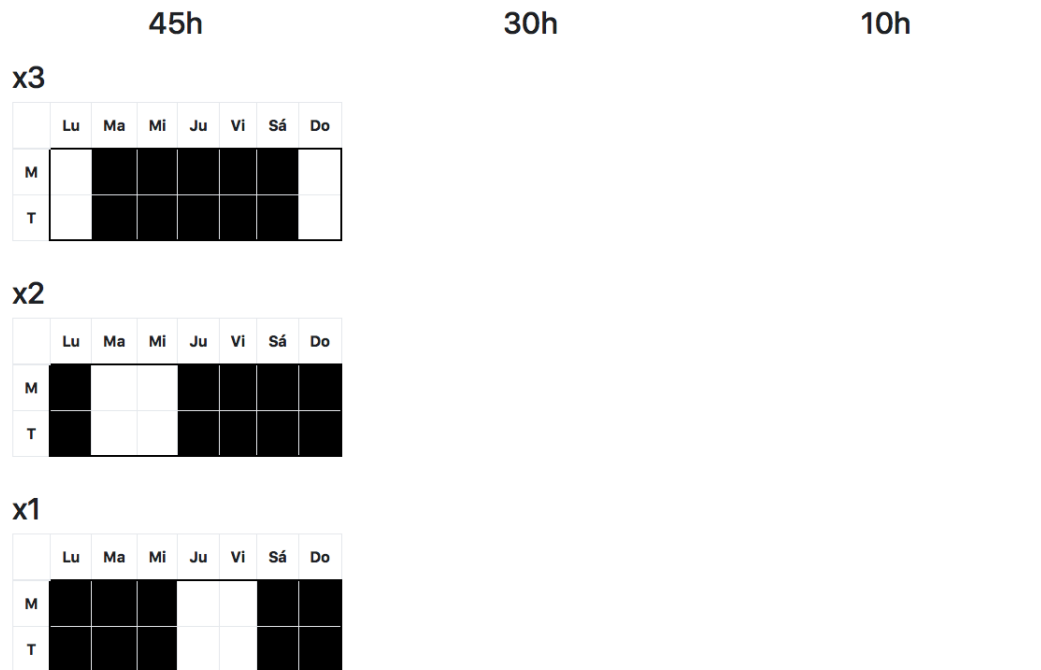


Figura 6.4: Esquema de turnos óptimos si se eliminan los turnos *part time* en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Para satisfacer esta configuración, es necesario tener la siguiente estructura de turnos, que se muestra gráficamente en la Figura 6.5:

- **Cuatro turnos de 10 horas semanales:**
 - Tres turnos que trabajen el día Sábado.
 - Un turno que trabajen el día Domingo.
- **Siete turno de 30 horas semanales:**
 - Un turno que trabaja el Domingo completo y las mañanas de los días Lunes, Miércoles, Viernes y Sábado.
 - Un turno que trabaja el Jueves completo, las mañanas del Lunes y Sábado, y las tardes del Martes y Viernes.
 - Un turno que trabaja las mañanas del Martes y Miércoles, y las tardes del Lunes, Jueves, Viernes y Domingo.
 - Un turno que trabaja el Sábado completo, las mañanas del Martes y Viernes, y las tardes del Lunes y Domingo.
 - Un turno que trabaja el Domingo completo, las mañanas del Jueves y las tardes del Lunes, Miércoles y Sábado
 - Un turno que trabaja los Viernes, Sábados y Domingos todo el día.
 - Un turno que trabaja el Domingo en la mañana y las tardes del Miércoles, Miércoles, Jueves, Viernes y Sábado.

Turnos

45h

30h

10h

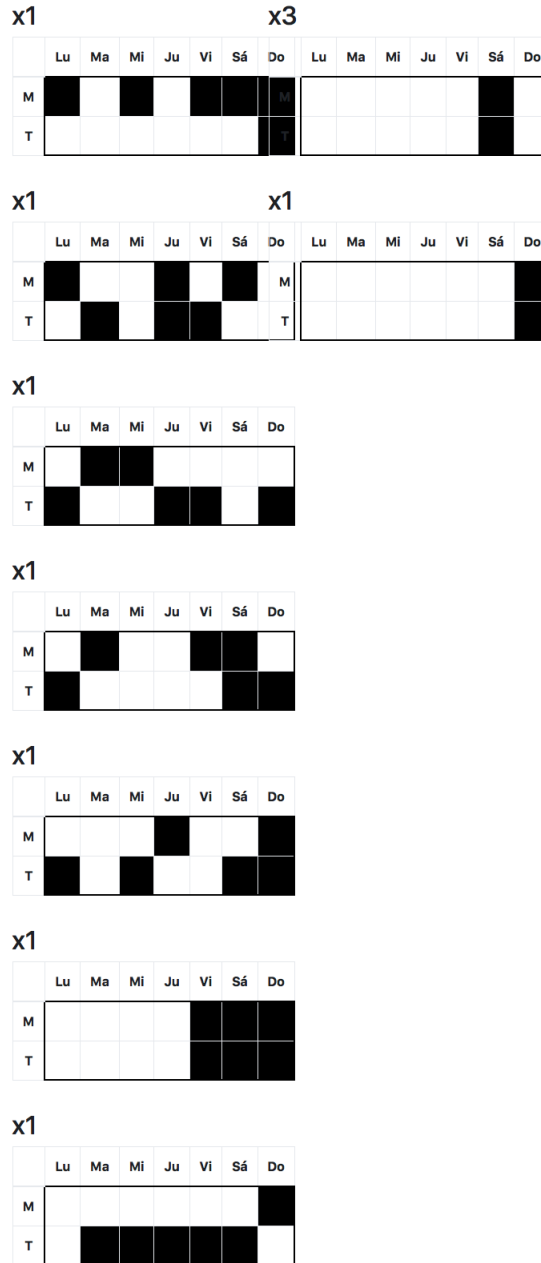


Figura 6.5: Esquema de turnos óptimos si se eliminan los turnos de 45 horas semanales en la tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

6.5. Comparación de función objetivo

A continuación, en la Tabla 6.6, se presentan los valores de la función objetivo en cada una de las situaciones mencionadas previamente:

Se observa que el modelo mejora el valor de la función objetivo y genera beneficios en

Situación	Valor de F.O.	Beneficio semanal	Beneficio porcentual
Sin días de descanso consecutivos	8.682.701,15	137.318,32	1,61 %
Ideal	8.680.407,44	135.024,61	1,58 %
Sin turnos de 45 horas semanales	8.657.701,15	112.318,32	1,31 %
Sin turnos <i>part time</i>	8.609.389,85	64.007,02	0,75 %
Actual	8.545.382,83	-	-

Tabla 6.6: Valores de función objetivo en cinco situaciones distintas, en orden decreciente, considerando distintas configuraciones en los parámetros.

todas las situaciones planteadas. En particular, en la situación ideal, se genera un aumento de la utilidad de un 1,58 %. Semanalmente, esto es aproximadamente \$135.024,61 CLP, que anualmente se traduce en un beneficio de \$7.021.279,72 CLP.

No obstante, la situación que genera más beneficios, es no restringir el problema a considerar solamente turnos de 45 horas semanales con días de descanso consecutivos¹¹. En este caso el beneficio anual sería de \$7.140.552,64. No obstante, considerando que la diferencia con la situación ideal es de solamente 0,3 %, se recomienda otorgar días de descanso consecutivos, aún cuando el valor de la función objetivo es levemente inferior. Esto, porque descansando días seguidos, genera mejores condiciones laborales para los vendedores, que finalmente repercute en trabajadores que realizan mejor sus funciones, por lo tanto se puede aprovechar el impacto no explorado de vendedores con mas entusiasmo por el trabajo, respecto a vendedores poco motivados.

¹¹Técnicamente, la mejor configuración es no considerar días de descanso consecutivos y no considerar Domingos alternados. La función objetivo en este caso es de 8.688.577,95, es decir, un beneficio semanal de \$143.195,12 CLP, que equivale a un aumento en utilidades de 1,68 %.

Capítulo 7

Prototipo funcional de asignación óptima de personal

En el presente capítulo se muestra el prototipo funcional del asignador óptimo de dotación de personal desarrollado en los servidores de la Universidad.

7.1. Módulo de opciones

En esta sección es posible configurar algunos parámetros del modelo, para que el resultado se adapte a los requerimientos del usuario. Se pueden personalizar los siguientes parámetros:

- Activar restricción de permitir solo configuraciones con días de descanso consecutivos para turnos de 45 horas semanales.
- Activar restricción de alternar la cantidad de Domingos trabajados.
- Cantidad mínima y máxima de turnos de 45 horas semanales.
- Cantidad mínima y máxima de turnos de 30 horas semanales.
- Cantidad mínima y máxima de turnos de 10 horas semanales.

A continuación, en la Figura 7.1, se muestra una vista del módulo de opciones del prototipo.

7.2. Información descriptiva

En esta sección se muestra información relevante sobre la tienda, por ejemplo el tráfico promedio registrado durante el año 2016 de cada día y jornada. A continuación, en la Figura 7.2, se muestra una tabla desplegada en el prototipo.

Solo turnos de 45h con días de descanso consecutivos
 Alternar domingos trabajados

Mínimo	Turno	Máximo
<input type="text"/>	45h	<input type="text"/>
<input type="text"/>	30h	<input type="text"/>
<input type="text"/>	10h	<input type="text"/>

Figura 7.1: Vista del módulo de opciones del prototipo de asignador óptimo de vendedores.

Tráfico

	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do
Mañana	75	75	93	90	105	284	192
Tarde	112	103	106	121	160	393	290

Figura 7.2: Vista del módulo de información del prototipo de asignador óptimo de vendedores.

7.3. Solución óptima del problema

En esta sección se muestra la asignación óptima de vendedores para cada día y jornada según los parámetros ingresados al modelo. En la Figura 7.3 se muestra un ejemplo de como se despliega la solución óptima del problema.

Dotación Propuesta

	Lu	Ma	Mi	Ju	Vi	Sá	Do
Mañana	2	2	2	3	3	7	5
Tarde	2	2	2	3	4	7	6

Figura 7.3: Vista del módulo de asignación ideal del prototipo de asignador óptimo de vendedores.

7.4. Descripción de turnos

En esta sección se muestra la descripción de la cantidad y tipos de turnos necesarios para satisfacer la asignación óptima de vendedores en cada día y jornada, según los parámetros ingresados al modelo. En la Figura 7.4 se muestra un ejemplo de como se despliega la descripción y cantidad de cada tipo de turno necesario.

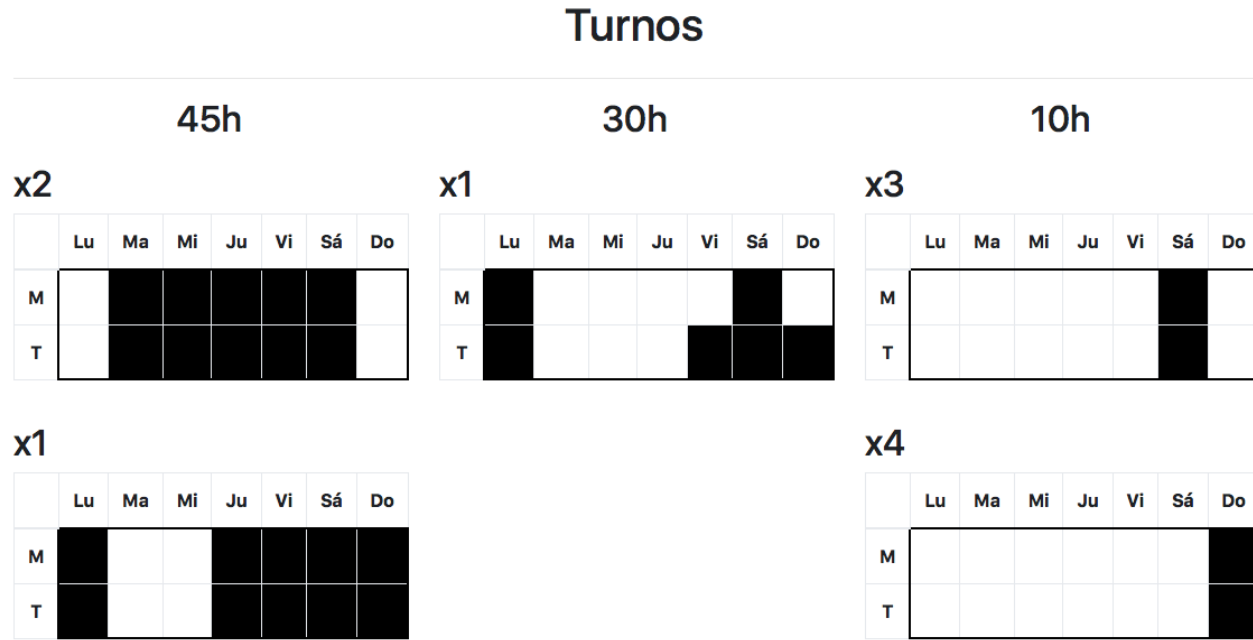


Figura 7.4: Vista del módulo de descripción de turnos del prototipo de asignador óptimo de vendedores.

Capítulo 8

Conclusiones

Actualmente, la tienda no utiliza modelos matemáticos para apoyar la gestión de asignación y calendarización de personal en tiendas. Por lo tanto, no resultó extraño encontrar que la dotación de las 15 tiendas estuviera desbalanceada, entre días de la semana y dentro del mismo día, respecto al tráfico de clientes esperado en tienda. Es por lo anterior, que se desarrolló una metodología que realiza una asignación óptima de vendedores en función del nivel de ventas esperado, balanceando la carga de trabajo de los vendedores.

Fue posible determinar, mediante el ratio de clientes-trabajadores, que las tiendas presentaron durante 2016 un desbalance sistemático en el nivel de utilización de los vendedores, entre días de la semana e incluso durante el día. Con los resultados obtenidos, se balancearon las cargas y se corrigió el problema de sub-dotación en horario *peak* y sobre-dotación en horario bajo.

Con la metodología propuesta, se concluye que en promedio la tienda ubicada en Easton Outlet Mall, es capaz de aumentar los ingresos en \$7.021.279,72 CLP anualmente. Para los otros locales no se resolvió la instancia, pero la metodología es 100% replicable, solamente hace falta calcular el nivel de ventas esperado, con los pasos descritos en la sección 4.4.

El principal desafío de este estudio fue determinar una función que depende del tráfico, del nivel de trabajadores y de la sala de ventas, que entrega el incremento marginal esperado en ventas si se agrega un trabajador más. Se desarrolló una metodología robusta que cumple a cabalidad con los objetivos propuestos al comienzo, con modelos robustos y significativos en las 15 tiendas analizadas.

Se realizaron variaciones de los principales parámetros configurables del problema y se obtuvo resultados totalmente lógicos. La mejor solución se obtuvo sin considerar días de descanso consecutivos ni alternando Domingos de trabajo. El problema de esta configuración, es que se deben alternar los Domingos trabajados para cumplir con la regulación del laboral del código del trabajo. De este modo, la segunda mejor solución es considerar días de descanso no necesariamente consecutivos pero alternando los Domingos trabajados. No obstante, esta solución es levemente más conveniente que aquella que considera solamente turnos de 45 horas semanales con días de descanso consecutivos. Considerando el posible beneficio no explorado

en esta tesis del impacto positivo en el tamaño del ticket de tener vendedores más motivados, se recomienda fuertemente realizar asignaciones que consideren turnos de 45 horas semanales con Domingos alternados y días de descanso consecutivos. . El principal aporte de este trabajo de tesis, es realizar la asignación del personal, en función del nivel de venta esperado para cada tienda y del tráfico de clientes, y no en función de las ventas históricas, y entregar un prototipo funcional amigable, que mediante una interfaz web resuelve el problema matemático en los servidores de la Universidad.

Limitaciones y trabajos propuestos

Si bien la metodología planteada en este trabajo de tesis cumplió con los objetivos planteados en un comienzo, durante el transcurso de la investigación surgieron varios temas que podrían ser incorporados y así mejorar los resultados:

- **Incertidumbre de dotación:** Con cierta probabilidad, un trabajador que debe presentarse a trabajar podría no presentarse, por factores totalmente exógenos que no son controlables. Esta incertidumbre de asistencia no fue incorporada en los modelos econométricos ni en el modelo de programación lineal. Es de esta manera, que surge una nueva arista de trabajo que permite obtener soluciones aún mejores. Para lo anterior, sería necesario calcular la probabilidad de inasistencia que tienen los distintos tipos de turnos, y realizar un modelo de programación estocástica que considere esta probabilidad dentro del problema.
- **Preferencia de los trabajadores:** En este trabajo de tesis, el impacto en ventas de un trabajador, fue evaluado solamente en términos de conversión. No obstante, hay otros factores que no fueron estudiados, por ejemplo, el efecto en el tamaño del ticket promedio que tiene un vendedor en tienda. Es así como surge la hipótesis, de que trabajadores que sientan un buen ambiente laboral, realicen de mejor manera sus labores y obtengan un mejor rendimiento, entre ellos, aumentando el tamaño del ticket promedio y aumentando aún más la conversión. De esta manera, resulta interesante considerar preferencias personales como parámetros que debiesen ser agregados en el modelo.
- **Diferentes tipos de vendedores:** En el trabajo de tesis se consideraron trabajadores homogéneos al momento de realizar la asignación. No obstante, todos los vendedores son distintos, hay algunos más productivos, que incluso incentivan y proyectan energía entre sus pares, por lo tanto se obtiene un mejor rendimiento grupal, mientras que existen otros que no están realmente interesados y no tienen buen rendimiento. No obstante, es posible clasificar a los vendedores según el tipo de turno por el cual están contratados. Es así, como un vendedor contratado por turnos de 45 horas semanales, es mas responsable que un trabajador *part time*, y generalmente, tiene mejor rendimiento que un vendedor *part time* de 30 horas semanales, pues está totalmente enfocado en vender. Por el contrario, un trabajador contratado bajo la modalidad de un turno de 10 horas semanales, es generalmente menos comprometido con la asistencia, ya que son los que más faltan sin previo aviso. A pesar de lo anterior, este tipo de trabajador presenta uno de los mejores rendimientos en general, ya que trabajan por necesidad y necesitan la comisión adicional por conceptos de montos vendidos.

Como se mencionó previamente, cada tipo de turno tiene distintas características, ventajas y desventajas, que no fueron incorporadas en el modelo de programación lineal, pero que eventualmente podrían ser consideradas, con el propósito de obtener mejores resultados. A pesar de lo anterior, se incluyeron restricciones que permiten mantener dentro de límites establecidos la cantidad de cada tipo de turno que se desea contratar.

- **Rotación de trabajadores:** Si se desea tener mas flexibilidad para asignar y calendarizar turnos de trabajo, es necesario contratar vendedores bajo tipos de turnos que otorguen está mayor flexibilidad. Es así, como los turnos de 45 horas semanales presentan desventajas al momento de agendar trabajadores, pues son considerablemente más rígidos que los turnos de 30 y 10 horas semanales. El problema de tener una mayor cantidad de turnos *part time*, es que aumenta la rotación de trabajadores. Es probable que exista un efecto negativo en conversión si existe una gran rotación de trabajadores. Por lo tanto, se propone estudiar este efecto, con el fin de poder incluirlo en los parámetros del modelo de programación lineal.

Capítulo 9

Anexos

Trabajadores	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	55.869	87.899	54.778	77.694	110.950	221.834	101.214
2	56.827	89.554	56.184	79.458	113.847	232.246	104.321
3	57.168	90.147	56.703	80.101	114.919	236.405	105.498
4	57.343	90.451	56.973	80.433	115.476	238.767	106.114
5	57.449	90.637	57.138	80.636	115.817	240.247	106.493
6	57.521	90.761	57.250	80.773	116.048	241.261	106.749
7	57.572	90.851	57.330	80.871	116.214	241.999	106.934

Figura 9.1: Nivel de ventas según trabajadores entre 09:00 y 12:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Trabajadores	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	217.635	232.751	262.182	280.970	339.595	869.917	577.841
2	226.925	242.431	274.384	294.250	357.133	887.439	609.877
3	230.691	246.328	279.243	299.816	364.399	919.309	629.973
4	232.715	248.416	282.000	302.842	368.606	940.708	643.088
5	233.975	249.715	283.726	304.739	371.263	955.425	651.870
6	234.835	250.601	284.908	306.039	373.090	967.101	658.132
7	235.460	251.244	285.768	306.984	374.424	976.003	662.813

Figura 9.2: Nivel de ventas según trabajadores entre 12:00 y 15:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Trabajadores	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	273.491	309.761	300.677	331.703	418.650	888.531	625.163
2	287.053	324.303	314.825	348.759	442.500	882.866	650.952
3	292.850	330.384	320.480	356.174	453.019	913.937	673.904
4	296.022	333.686	323.695	360.256	459.279	936.303	689.541
5	298.018	335.756	325.709	362.833	463.278	952.929	700.284
6	299.389	337.173	327.089	364.606	466.050	965.316	708.061
7	300.388	338.204	328.093	365.899	468.084	974.847	713.934

Figura 9.3: Nivel de ventas según trabajadores entre 15:00 y 18:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Trabajadores	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
1	205.840	36.595	177.965	201.734	246.380	509.930	329.826
2	212.865	37.777	184.051	209.296	258.441	539.657	349.244
3	215.572	38.228	186.396	212.265	263.328	556.786	358.137
4	216.999	38.465	187.633	213.841	266.126	566.865	363.505
5	217.880	38.611	188.397	214.817	267.885	574.157	366.958
6	218.477	38.710	188.915	215.481	269.092	579.329	369.360
7	218.909	38.781	189.289	215.961	269.971	583.183	371.127

Figura 9.4: Nivel de ventas según trabajadores entre 18:00 y 21:00 para tienda ubicada en Easton Outlet Mall.

Bibliografía

- [1] Howard Hao-Chun Chuang, Rogelio Oliva, and Olga Perdikaki. Traffic-based labor planning in retail stores. *Production and Operations Management*, 25(1):96–113, 2016. ISSN 1937-5956. doi: 10.1111/poms.12403. URL <http://dx.doi.org/10.1111/poms.12403>.
- [2] Marshall Fisher, Jayanth Krishnan, and Serguei Netessine. Retail store execution: An empirical study. 2006.
- [3] Marshall Fisher, Santiago Gallino, and Serguei Netessine. Setting retail staffing levels: A methodology validated with implementation. 2017.
- [4] Marshall L. Fisher, Jayanth Krishnan, and Serguei Netessine. Are your staffing levels correct? *International Commerce Review*, 8(2):110–115, Dec 2009. ISSN 1864-5747. doi: 10.1007/s12146-010-0048-6. URL <https://doi.org/10.1007/s12146-010-0048-6>.
- [5] Yina Lu, Andrés Musalem, Marcelo Olivares, and Ariel Schilkrut. Measuring the effect of queues on customer purchases. *Management Science*, 59(8):1743–1763, 2013. doi: 10.1287/mnsc.1120.1686. URL <https://doi.org/10.1287/mnsc.1120.1686>.
- [6] Vidya Mani, Saravanan Kesavan, and Jayashankar M Swaminathan. Estimating the impact of understaffing on sales and profitability in retail stores. *Production and Operations Management*, 24(2):201–218, 2015.
- [7] Olga Perdikaki, Saravanan Kesavan, and Jayashankar M. Swaminathan. Effect of traffic on sales and conversion rates of retail stores. *Manufacturing & Service Operations Management*, 14(1):145–162, 2012. doi: 10.1287/msom.1110.0356. URL <https://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/msom.1110.0356>.
- [8] Gary M. Thompson. Improved implicit optimal modeling of the labor shift scheduling problem. *Management Science*, 41(4):595–607, 1995. doi: 10.1287/mnsc.41.4.595. URL <https://doi.org/10.1287/mnsc.41.4.595>.