



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

METODOLOGÍA HEURÍSTICA PARA RESOLVER ASIGNACIÓN DE TURNOS EN
UNA FARMACIA Y BÚSQUEDA DE COTAS DEL PROBLEMA

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN GESTIÓN DE OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL INDUSTRIAL

ADOLFO ANTONIO ROCCO ROCCO

PROFESOR GUÍA:

FERNANDO ORDOÑEZ PIZARRO

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

FRANCISCO TUBINO CORTÉS

RICARDO SAN MARTÍN ZURITA

ANDRÉS WEINTRAUB POHORILLE

SANTIAGO DE CHILE
ENERO 2015

Resumen

La presente tesis consiste en presentar la resolución del problema de asignación de turnos de trabajadores que tiene una cadena de retail en el rubro farmacéutico. Para ello se dará a conocer la realidad de esta farmacia, donde se detallarán las restricciones, reglas de negocios, número de trabajadores, distintos tipos de contratos, entre otros.

La farmacia hoy en día ha visto que en momentos de baja como de alta demanda existe sobredotación y sub-dotación de personal, lo cual ha mostrado la necesidad de una herramienta para programar los turnos de forma óptima. El objetivo de esta tesis es la creación de un modelo y algoritmo que permita optimizar y planificar las dotaciones del personal de ventas cumpliendo con la demanda, reglas de negocio y restricciones legales de manera de minimizar los costos dentro de los locales. También se busca encontrar cotas del problema original a través de una metodología de generación de columnas para poder medir el rendimiento técnico de la heurística.

Los objetivos específicos es encontrar los requerimientos mínimos de personal; determinar el número de personal óptimo; hacer uso más eficiente de la horas, encontrando turnos que permitan distribuir de manera más eficiente el personal diario; generar más contratos de tipo part-time que permitan adecuarse de mejor manera a la demanda, y asignar turnos a trabajadores que no están sujetos a demanda de acuerdo a un criterio definido.

Actualmente el sistema está implementado en aproximadamente 100 locales. En la fase de piloto, con 14 locales en funcionamiento, las ventas aumentaron 0,5 %, se redujeron costos de personal en 2,5 %, las horas extras disminuyeron 36 %, y se incrementó las comisiones de los vendedores en 1 %. Entre las mejoras cualitativas encontramos la estandarización de procesos, cumplimiento de la ley vigente, lo cual permite evitar multas, como también una rotación del personal que prohíbe que se generen derechos adquiridos de los vendedores. Por otro lado, se demostró que las soluciones de asignación de los turnos están a menos de un 8 % del óptimo.

A mi mami, sin ella nada sería posible

Agradecimientos

Primero, agradezco al profesor Fernando Ordoñez por su apoyo, sugerencias en todo el proceso de esta tesis, fue de suma importancia su aporte a nivel técnico y práctico. Agradezco al profesor y mi jefe Francisco Tubino, quién me ofreció este tema de tesis para desarrollarlo, agradezco su inconmensurable flexibilidad y apoyo para terminar los cursos de magíster y trabajar al mismo tiempo. Gracias por el apoyo que me han brindado ya que me encuentro a nada de ser ingeniero, muchas gracias por todo lo que he aprendido de ustedes tanto académicamente como persona.

Segundo, agradezco a todo el equipo medular que estuvo involucrado en el proyecto completo, Ricardo San Martín, Sebastián Espinoza, Cristian Cornejo, Franco Basso, Carlos Flores y Rodrigo Alvarado. Sin sus enormes esfuerzos, trabajo profesional y horas de programación, habría tomado mucho más tiempo completar este proyecto.

Tercero, quiero agradecer a mi familia; a mi madre Josefina (padre y madre a la vez) quién se ha esforzado toda su vida para sacarme adelante, a mi tío Augusto por todo el apoyo que me ha brindado desde pequeño. También, quiero agradecer enormemente por el apoyo de mi tío Ramón, quién siempre me apoyó desde que era niño. Al tío David y tía Maritza que son unos padres putativos para mí, pues me han acogido como uno más de la familia.

Además, agradezco a mis amigos de toda la vida Adolfo, Davicito, Tambito y Lemu, ellos han sido los que me han acompañado en mis logros y tropiezos. También agradezco a mis amigos de colegio Marquito, Nayo, Jano, Manuel, Vergarín, Jesus Y Nilo con quienes he compartido los momentos más hilarantes de mi vida. Mis amigos de universidad Zapato, Villano, Caacuna, Saguila, Mijo, Seba, Vistor, Felipe, Cleme, Álvaro y Guille por todos los momentos inolvidables vividos en mi vida universitaria y todas esas juntas que hemos disfrutado.

Finalmente, quiero agradecer a mi mami (abuela) Juana de 100 años, quién me crió cuando mi

madre tenía que trabajar. Gracias a su enseñanza, sentido común y su enorme conocimiento de la vida me inculcó de que nada es imposible, gracias a ella he conseguido todos los objetivos de mi vida, la perseverancia y trabajo duro que ella también vivió fue de suma importancia para formarme como persona.

Adolfo Rocco Rocco.

Tabla de contenido

Resumen	I
Agradecimientos	III
1. Introducción	1
1.1. Objetivos	3
1.2. Literatura	4
1.3. Estructura de la tesis	6
2. Características y requerimientos de la compañía	8
2.1. Tipos de locales	8
2.2. Tipos de vendedores	9
2.2.1. Categoría farma	9
2.2.2. Categoría belleza	9
2.2.3. Categoría consumo	9
2.2.4. Categoría reponedor	9
2.3. Tipos de contratos	9
2.4. Restricciones legales	10
2.5. Restricciones de negocio	10
2.6. Agenda	12
3. Diseño y Definiciones del Sistema	13
3.1. Definiciones	13
3.2. Creación de turnos	13
3.2.1. Patrones de horario semanal	13
3.2.2. Horarios de locales	14
3.2.3. Descuento horas de trabajo en feriados y otros	15
3.2.4. Generación de turnos	15
3.3. Filtro de turnos	18

3.4. Proyección de demanda	18
3.5. Tiempos de atención	19
3.5.1. Valor ticket	19
4. Formulación modelo heurístico implementado	20
4.1. Modelo rotación	21
4.1.1. Variables	22
4.1.2. Conjuntos y parámetros	22
4.1.3. Función objetivo	22
4.1.4. Restricciones	23
4.2. Modelo domingo	24
4.2.1. Conjuntos	24
4.2.2. Parámetros	24
4.2.3. Variables	25
4.2.4. Función objetivo	25
4.2.5. Restricciones	25
4.3. Partición modelo semanal	27
4.3.1. Conjuntos	27
4.3.2. Parámetros	28
4.3.3. Variables	28
4.3.4. Función objetivo	29
4.3.5. Restricciones	29
4.4. Modelo dotación óptima	31
4.5. Modelo reponedores	32
4.6. Algoritmo general de la heurística	33
5. Metodología generación de columnas	34
5.1. Introducción	36
5.2. Supuestos y relajaciones	36
5.3. Formulación del modelo	37
5.3.1. Problema maestro	37
5.3.2. Subproblema o problema pricing (GCE)	39
5.3.3. Cota al problema usando costos reducidos	46
5.3.4. Heurística de generación de columnas greedy al inicio (CGC)	46
5.3.5. Reglas de branching	48

6. Implementación	50
6.1. Plataformas y lenguajes usados para desarrollo	50
6.2. Dificultades y soluciones técnicas en el desarrollo	51
6.3. Dificultades y soluciones en la implementación en locales	53
6.4. Aumentos potenciales de ventas y justificación de la operación del sistema	53
7. Resultados	54
7.1. Resultados modelo heurístico implementado	54
7.1.1. Resultados para la compañía	54
7.1.2. Análisis computacional de uso de horas y asignación de turnos	55
7.1.3. Análisis de ventas, comisiones, horas extras, y costos de personal en primeros locales pilotos	59
7.2. Rotación	60
7.3. Resultados computacionales 2 metodologías	61
7.4. Comportamiento de la generación de columnas	65
8. Conclusiones y problemas abiertos	68
8.1. Trabajo futuro	70
Bibliografía	72
Anexos	75
A . Modelo Reponedores	75
A .1. Conjuntos	75
A .2. Parámetros	76
A .3. Variables	76
A .4. Función Objetivo	77
A .5. Restricciones	77
B . Algoritmo general Branch & Price	79
C . Interfaces de la aplicación	81
C .1. Panel de reportes	81
C .2. Panel de asignación de turnos	81
C .3. Edición turnos	82
C .4. Parámetros por local	82
C .5. Reporte dotación optima	83
D . Cota usando costos reducidos para una función maximizada	84

Índice de figuras

1.1. Se generan muchas holguras y requerimiento de personal en ciertos periodos.	2
1.2. La curva óptima debe ser mucho más cercana a la requerida.	3
1.3. Las holguras se pueden usar para hacer reposición, limpieza, entre otros.	3
2.1. Agenda para personal de categorías.	12
3.1. Configuración de turno semanal para distintas personas.	14
3.2. Composición de turnos de 7,5 y 9 horas aseguran factibilidad en la mayoría de los casos.	16
3.3. Los domingos intercalados son en días distintos en este caso.	16
3.4. Los turnos de 7,5 horas son los más necesarios para factibilidad.	16
3.5. Son necesarias 9,5 horas en algunos días para completar las 45 horas.	17
3.6. Part-time 30 horas.	17
3.7. Part-time 25 horas.	17
3.8. Part-time 20 horas.	17
4.1. Secuencia de resolución de las 3 etapas de la heurística.	21
4.2. Secuencia de resolución de la heurística, incluyendo categorías y rutinas de la aplicación.	33
5.1. Algoritmo general Branch & Price.	35
5.2. Ejemplo gráfico de cómo va iterando la heurística greedy.	47
5.3. Ejemplo de árbol a recorrer para 4 personas y sólo un turno por cada persona.	49
6.1. Reporte de estado de corrida para cada local.	51
6.2. Reporte de turnos semanales con información de horarios diarios y horas semanales a trabajar.	51
7.1. Cantidad de horas semanal asignadas de sistema versus jefe de local.	55
7.2. Asignación de horas de jefe de local en comparación a la proyección de demanda.	56
7.3. Porcentaje de distribución de asignación de horas.	56

7.4. Asignación de horas del sistema en comparación a la proyección de demanda.	57
7.5. Porcentaje distribución de asignación de horas (42) de sistema versus jefe de local. .	58
7.6. Comparación de productividades de turnos elaborados por jefe de local y sistema. . .	58
7.7. Ejemplo de rotación de personal para mes completo.	61
8.1. Panel de reportes de asignación, productividades, tasas de ocupación y transacciones.	81
8.2. Panel de asignación de turnos mensual para todo el personal.	81
8.3. Edición de turnos para cambiar turnos manualmente.	82
8.4. Se parametrizan input específicos para cada local.	82
8.5. Reporte de dotación optima y actual.	83

Índice de Tablas

2.1. Tipos de locales por horario.	8
2.2. Tipos de contratos según disponibilidad	10
3.1. Patrón de horario estándar.	14
3.2. Tickets diferenciados por tiempos de atención.	19
7.1. Comisiones promedio para vendedores en comparación a año anterior.	59
7.2. Ventas de locales WF con respecto a año anterior.	59
7.3. Horas extra utilizadas mensualmente por cada local.	60
7.4. Diferencia de personal actual y dotación óptima para locales piloto.	60
7.5. Comparación de solución heurística (límite tiempo 30 minutos) y GC (límite de tiempo 2 horas).	62
7.6. Comparación de solución heurística y GC sin considerar costo de cobertura.	64
7.7. Tiempos de solución de GCG, GCE y problema maestro.	65
7.8. Gap de solución de GCE y GC completa.	66
7.9. Gap de solución de GCE y GC completa, sin considerar costo de cobertura.	67

Capítulo 1

Introducción

En los últimos años se ha gestado una creciente segmentación de los consumidores, frente a lo cual las empresas de retail tienen el desafío de contar con ofertas muy focalizadas y que estén disponibles al momento de la compra. Esto último requiere respuestas muy rápidas de parte de las cadenas de abastecimiento y es ahí donde las tecnologías de apoyo juegan un rol muy importante.

Las principales complejidades involucran la rentabilización de las superficies en puntos de venta, la asignación eficiente del personal en cada local, una gestión óptima de los inventarios a lo largo del supply chain y contar con un adecuado mix o assortment en cada punto.

De las complejidades anteriores, la eficiente planificación y programación del personal en los puntos de venta, conocida también como workforce management, se ha transformado en una ventaja competitiva, especialmente en aquellos casos donde la cantidad de puntos de atención ha formado parte de la estrategia de expansión. Además de los costos involucrados en personal, es muy relevante contemplar el pleno cumplimiento de las leyes laborales vigentes, al mismo tiempo que se deben monitorear indicadores para la calidad de atención, ventas perdidas y fuga de clientes.

La empresa en estudio es una cadena de retail en el rubro farmacéutico, la cual en el año 2012 facturó \$321.082 MM, cuenta con 58.512 metros cuadrados totales de sala de ventas, con aproximadamente 3.000 trabajadores, y 400 locales a lo largo del país, tienen más de 40 tipos de trabajadores distintos. Además de productos farmacéuticos, vende productos de belleza, higiene, cuidado personal y consumo, el ticket promedio bordea los \$5.000 y un local vende en promedio \$5.000.000 al día.

La empresa hoy en día ha visto en terreno que muchos de sus trabajadores en ciertas horas están inactivos debido a que no hay clientes que atender durante esos periodos, lo cual se traduce en una

sobre-dotación de personal, además de sub-dotación análogamente en otros momentos. También tienen en cuenta que no están cumpliendo ciertas leyes legales como el máximo de horas de trabajo, mínimo de 12 horas para un siguiente turno, entre otras. Esto último se debe a que la programación se lleva a cabo en forma manual, y por lo demás no hay ninguna verificación sistémica de que se estén cumpliendo todas las leyes a cabalidad. Por esto, se desea desarrollar una herramienta que en base a una demanda pronosticada pueda asignar turnos eficientemente para cumplir tal demanda, restricciones legales, reglas de negocio de la compañía, entre otros, y todo esto al menor costo.

Con la programación manual se impactan dos puntos gravitantes que están dados por una peor cobertura de la demanda y un menor nivel de servicio a clientes, dado que el personal no necesariamente estará presente cuando realmente debe estarlo. Sin el apoyo de una herramienta de este tipo, comúnmente el resultado de la asignación de turnos se traduce en situaciones como las que se muestran en la figura 1.1:

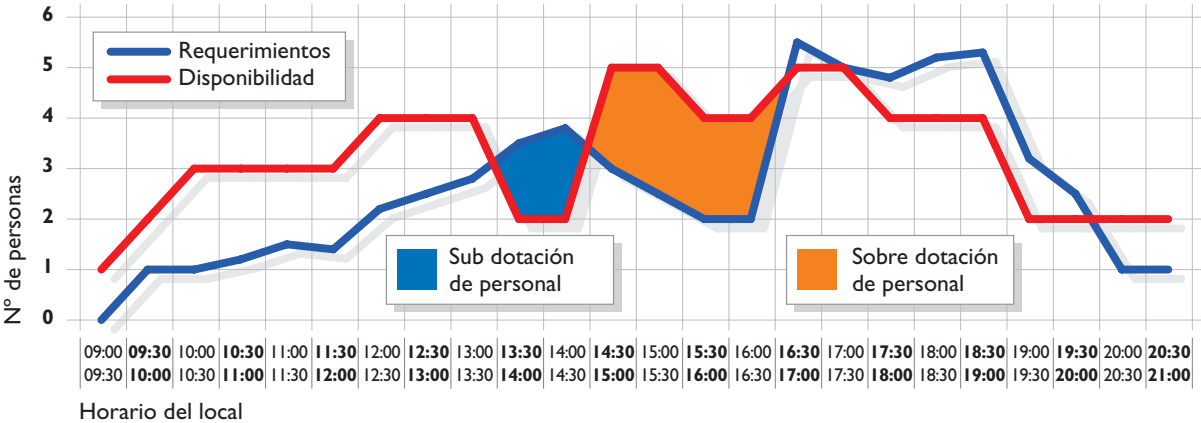


Figura 1.1: Se generan muchas holguras y requerimiento de personal en ciertos periodos.

Con una herramienta que optimice las ventas, las curvas de asignación lucirían como la que se muestra en figura 1.2, en donde los periodos de mayor demanda son cubiertos, y a la vez se minimiza las holguras y la falta de personal en periodos peak.

Por otro lado, reportar los tramos horarios en que, según la distribución óptima de vendedores, existen espacios de tiempo en los cuales se pueden destinar vendedores a realizar otras tareas sin afectar el nivel de ventas ni el nivel de atención del local, ver figura 1.3.

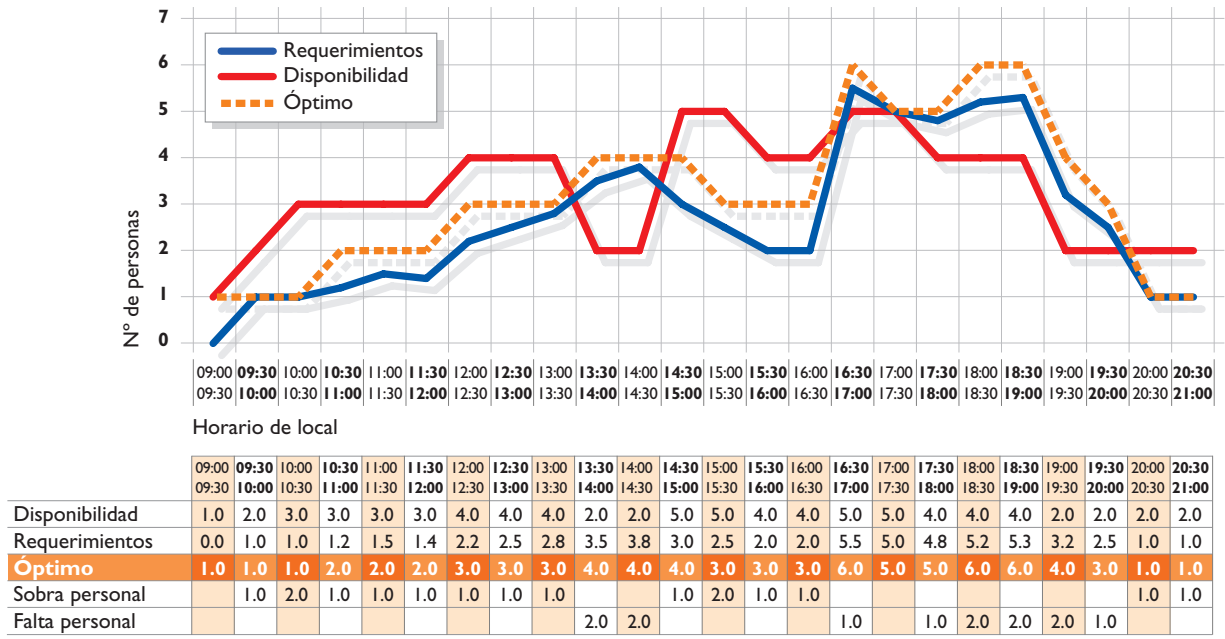


Figura 1.2: La curva óptima debe ser mucho más cercana a la requerida.

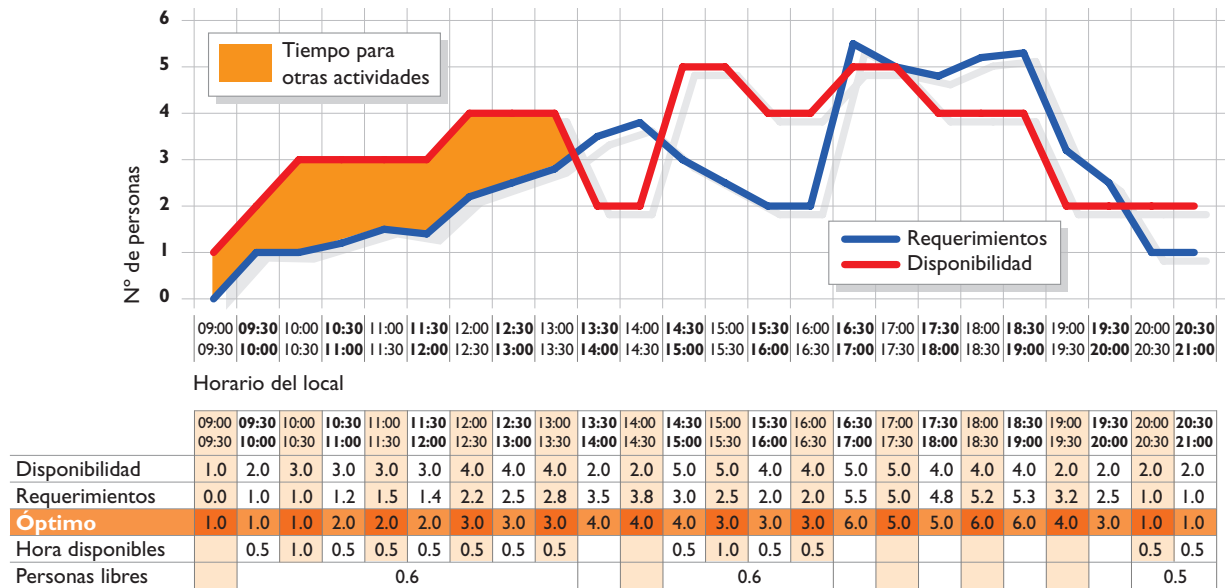


Figura 1.3: Las holguras se pueden usar para hacer reposición, limpieza, entre otros.

1.1. Objetivos

El objetivo general que se busca con esta herramienta es diseñar un modelo que permita optimizar y planificar las dotaciones del personal de ventas cumpliendo con la demanda, reglas de negocio y restricciones legales de manera de minimizar los costos de operación de los locales. También se busca encontrar cotas del problema original a través de una metodología de generación columnas para poder medir el rendimiento técnico de la heurística.

Entre los objetivos específicos encontramos: encontrar los requerimientos mínimos de personal de cada momento; determinar el número de personal en cada uno de estos locales satisfaciendo las distintas restricciones del problema y con ello encontrar la dotación óptima para cierto periodo; hacer el uso más eficiente de la horas, encontrando turnos que permitan distribuir de manera más eficiente el personal diario y a la vez más preciso; generar más contratos de tipo part-time que permitan adecuarse de mejor manera a la demanda, teniendo mayor flexibilidad y asignar turnos a trabajadores que no están sujetos a demanda de acuerdo a un criterio definido.

1.2. Literatura

En la literatura existen distintos trabajos en la optimización de personal, sin embargo, las metodologías y supuestos acerca de estos trabajos varían. La herramienta a desarrollar tiene como grandes ventajas asignar licencias, vacaciones, rotación del personal, re-programar turnos ante contingencias, entre otras.

Problemas de scheduling, rostering o timetabling son muy frecuentes en la investigación de operaciones, más específicamente en la literatura del campo de la optimización.

En el campo del retail, scheduling de aerolíneas, scheduling de enfermeras en hospitales, son áreas donde hay una amplia gamma de papers y casos que resuelven este tipo de problemas, con las particularidades que cada problema presenta. Metodologías heurísticas son usadas en [2] y [14]. Una heurística en donde la construcción de turnos se basa en un secuenciamiento de turnos es desarrollada en [8]. Una heurística en 2 estados es propuesta para restricciones de inicio en [9].

En el campo de las aerolíneas, encontramos la asignación del equipo de aerolíneas para la operación y preplaneamiento, el cual debe ser resuelto en tiempos cortos en [20]. Otra técnica usada para tratar con muchas y difíciles restricciones es la programación de restricciones o constraint programming, la cual es una técnica que mezcla la optimización con heurísticas, por ejemplo usado para generación de turnos de enfermeras en [24].

La generación de columnas es una técnica ampliamente usada en método de descomposición, ver [11], la cual ha sido usada exitosamente para resolver el problema de cutting stock en [16] y [17],

sin embargo, para problemas grandes esta metodología ocupa mucho recursos y tiempos computacionales. El uso de constraint programming y generación de columnas es usado en [12]. Problema que aborda preferencias de enfermeras es resuelto en [1]. En un problema de tránsito público es usada una generación de columnas adaptativa en [7]. La asignación de turnos para aerolíneas usando generación de columnas encontramos en [15] y [25]. Para asignación de turnos en trenes usando generación de columnas en [19], en problema de timetabling de una escuela secundaria es también usada esta técnica [22].

La metodología exacta Branch & Price que hace uso de generación de columnas para generar variables en cada nodo del árbol Branch & Bound es usada en un departamento de un hospital para generar turnos a trainees en [3]. Para turnos de integración de enfermeras y cirujías en [4].

El problema a resolver es una mezcla de heurísticas con funciones multiobjetivos que abordan restricciones que pueden ser violadas a ciertos costos como en [1].

La heurística implementada se basó, tanto en el código y diseño, en la memoria [28]. Este trabajo es un problema mucho más pequeño que considera todas las leyes laborales, turnos diarios limitados (5 por día), 6 tipos de contratos, y periodos dentro del día menores al abordado en este trabajo. La heurística implementada toma como base todas estas características, agregando mayor complejidad con más realidades y generalizaciones. Por ejemplo, se cambió la lógica de asignación de turnos de diaria a semanal, usando actualmente 10.000 turnos posibles para cada semana y cada trabajador. Se considera costos por no cumplir restricciones, en otras palabras, se pasa a una función multi-objetivo. La rotación de personal es abordada con un modelo que sólo resuelve esa problemática. En base al modelo desarrollado se crea un modelo de dotación óptima y otro para asignación de personal que no está sujeto a venta (Reponedores). Se generalizan y se parametrizan casi todas las variables consideradas; contratos, disponibilidades, turnos, parámetros (días seguidos, máximo domingos, horas contrato, etc.), las cuales antes se encontraban duras (escritas) en el código y no como variables que se pudieran cambiar externamente. Todas estas adaptaciones nuevas, mejoras, y generalizaciones permiten que el modelo sea fácil de adaptar y parametrizar para resolver problemáticas de otras cadenas de retail, como por ejemplo: tiendas por departamento, cadenas de comidas, tiendas de zapatos, entre otros.

Lo realizado en la parte de generación de columnas si bien no se basa en ningún trabajo previo,

tiene muchas similitudes a lo que se hace en [1], en donde se resuelve la asignación de turnos tomando en cuenta las preferencias de trabajo de las enfermeras, y además la posibilidad de que diferentes tipos de enfermeras realicen trabajos que requieren menos especialización (Downgrading). Este trabajo considera periodos de demanda que deben ser cubiertas con un beneficio asociado que es muy similar a lo realizado en el paper, sólo que es considerado como costo por estar sobredotado y subdotado. Sin embargo, no considera un costo por no haber asignación de personal en algún periodo. El trabajo presente no considera upgrade o downgrade de personal, sino mas bien existe una sola función en cada categoría (que es vender o reponer), y tampoco las preferencias de los trabajadores. El paper usa un periodo de horizonte de 30-40 días, no obstante con mucho menos periodos dentro del día (Únicamente 4), en comparación a la partición en 48 medias horas por día del presente trabajo. En resumen, el paper mencionado ([1]) considera básicamente las mismas leyes laborales, y otras características que no son consideradas en este trabajo, sin embargo, el problema presente es un modelo más atomizado, debido a que el tiempo se divide en más periodos.

1.3. Estructura de la tesis

En el capítulo **2** se presenta las características de la empresa, entre ellos; distintos tipos de locales, distintos tipos de vendedores, reglas laborales y reglas de negocio.

En el capítulo **3** se muestra como se definieron, diseñaron, y midieron partes necesarias del sistemas, como lo son; patrones de turnos, unidad de tiempo, proyección de demanda, descuentos de horas cuando hay ausentismos o feriados, horarios de locales, y asignación de vendedores de categoría que no pertenecen a farma ó que no están sujetos a ventas.

En el capítulo **4** se presenta en detalle como se implementó el modelo heurístico. Se detalla como se subdividió la resolución del modelo en 3 partes para disminuir los tiempos computacionales. Primero se resuelve modelo de rotación, luego modelo domingo, y finalmente modelo semanal; para luego entregar los turnos.

En el capítulo **5** se presenta la metodología de generación de columnas (GC), con el fin de obtener cotas del problema original, y poder medir en términos comparativos la heurística implementada. La metodología GC consiste básicamente en ir generando turnos a medida que se van necesitando. Para esto se definen 2 problemas; problema maestro, que es aquel que resuelve el problema de que turnos escoger de un grupo dinámico (que va cambiando a medida que se itera); y problema pricing

o subproblema, que es aquel que genera turnos iterativamente que el problema maestro toma como variables de decisión.

En el capítulo **6** se presenta como fue el proceso de implementación de la herramienta, empezando por las plataformas y lenguajes usados para su construcción. Desde las dificultades en un comienzo tanto a nivel técnico como también a nivel práctico de implementar nuevos turnos a los trabajadores. Se hacen recomendaciones como afrontar modelos matemáticos que parecen intratables por el número de restricciones y variables. Por otro lado, se dan recomendaciones en dónde se puede aumentar ventas con la contratación de personal de medio tiempo. También se justifica la operación mensual de la herramienta por medio de ahorro de costos.

En el capítulo **7** se presentan resultados numéricos computacionales y reales de la implementación. Entre estos se presentan mejoras en indicadores de ventas, comisiones, horas extras, y ahorro de costos de personal en los primeros locales pilotos. Se muestra cómo la asignación de la herramienta se adapta mejor en comparación a lo que se hacía anteriormente. Por último se compara la metodología de generación de columnas con la heurística implementada.

En el capítulo **8** se presentan las conclusiones de la heurística implementada en términos de resultados, y también en términos de impacto de mayores ventas, comisiones y horas extras. Resultados cualitativos de mejoras en estandarización de procesos son presentados. Además, se sugieren perspectivas de trabajo futuro, en qué se puede seguir investigando, como así también mejoras que se pueden seguir haciendo al sistema en el corto y largo plazo.

Capítulo 2

Características y requerimientos de la compañía

2.1. Tipos de locales

La compañía cuenta con 400 locales aproximadamente, que tienen distintos tipos de formatos y horarios. Entre estos encontramos locales formato normal; farmacia que vende sólo remedios, formato drugstore; que vende productos farmacéuticos, de belleza y consumo; y locales formato guapa; aquellos que tienen un sector más amplio dedicado a belleza, siendo el espacio de venta dedicado a esto mayor que al destinado a productos farmacéuticos. Este último llamado sector farma.

En cuanto a horarios encontramos 4 tipos: locales que atienden 5 días a la semana de lunes a viernes, locales que abren 6 días a la semana de lunes a sábado, locales que abren 7 días a la semana de lunes a domingo, y locales 24 horas de urgencia; los cuales están abiertos a toda hora.

La número de locales según sus días de apertura semanal se muestra en cuadro 2.1.

Cuadro 2.1: Tipos de locales por horario.

Tipos de Horarios	Nº Locales
Apertura 5 días	7
Apertura 6 días	101
Apertura 7 días	283
Apertura 24/7	4

2.2. Tipos de vendedores

A continuación se describen los distintos tipos de vendedores.

2.2.1. Categoría farma

Son aquellos tipos de vendedores destinados a vender productos farmacéuticos. Todo vendedor de farma debe tener licencia de vendedor de farma, lo cual implica que ha sido capacitado para tales fines.

2.2.2. Categoría belleza

Son aquellos tipos de vendedores destinados a vender productos de belleza. Estos tipos de vendedores están capacitados para vender y ofrecer productos como cremas, exfoliantes , etc. El 50 % de los locales tienen vendedores de belleza.

2.2.3. Categoría consumo

Son aquellos tipos de vendedores destinados a vender productos de consumo. Entre estos productos encontramos bebidas, galletas, confites, entre otros. Estos tipos de vendedores no necesitan de ningún tipo de licencia o carnet especial para vender. Aproximadamente el 30 % de los locales venden productos de consumo.

2.2.4. Categoría reponedor

Son aquellos vendedores que se dedican exclusivamente a reponer todos los tipos de productos.

2.3. Tipos de contratos

Entre los distintos tipos de contratos, encontramos contratos full-time; part-time; contratos especiales, como por ejemplo, madres con amamantamiento que tienen horario más reducido; y contratos con derechos adquiridos, estos son contratos con horario fijo debido a que lo adquirieron en el pasado, y por ley no se puede cambiar o rotar horario. La mayor diversidad de tipos de contratos son los pertenecientes a categoría farma, donde encontramos part-time de 20, 25, y 30 horas, con distintas disponibilidades de trabajo en la semana.

Los principales tipos de contratos se muestran en el cuadro 2.2

Cuadro 2.2: Tipos de contratos según disponibilidad

Tipos de contratos	Horas trabajo semanal
Full Time	45
Full Time	30
Part Time Vi-Sa-Do	30
Part Time Vi-Sa-Do	25
Part Time Sa-Do-Lu	25
Part Time Sa-Do	20

2.4. Restricciones legales

Son todas aquellas leyes laborales enunciadas en la ley:

- Máximo de 6 días trabajados consecutivos.
- Al menos 2 domingos de descanso dentro del mes para contratos disponibilidad full time.
- Máximo de 10 horas de trabajo regulares por día.
- Cualquier feriado trabajado debe ser compensado ya sea con dinero o algún día libre dentro del mes en programación.
- Debe existir una diferencia de 12 horas entre un turno y el siguiente.
- Se limita a 2 horas diarias el uso de horas extras, y por ende máximo de 12 horas extras semanales, ya que sólo se puede trabajar como máximo 6 días seguidos.

2.5. Restricciones de negocio

Son aquellas reglas no necesariamente legales, pero que se deben cumplir para un correcto funcionamiento del local.

- Siempre debe haber un vendedor, perteneciente a sector farma, asignado en todo momento, pues siempre puede llegar un cliente, además que por un tema de imagen debe haber algún vendedor presente.
- Asignar vendedoras de belleza y consumo en demanda correspondiente a su categoría, y ayudar también en la venta normal de productos de farma.
- Los trabajadores tipo reponedor deben ser asignados de acuerdo a la hora de reposición, la cual depende de cada local.

- La asignación de turnos semanales debe ser rotativa, esto quiere decir que si una semana se trabaja de mañana, la siguiente semana y la anterior deben ser distinto de mañana.
- La asignación de trabajo en días domingos debe ser intercalada para contratos que rigen descanso de domingos al mes. Esto quiere decir que se trabaja un domingo, el siguiente no, y así sucesivamente.
- Ausentismos; como por ejemplo licencias, vacaciones, permisos; y actividades; como por ejemplo inventarios, y capacitaciones, deben ser considerados al momento de realizar la asignación de turnos.
- Los tipos de turnos semanales deben ser una cantidad finita a nivel compañía. Esto es debido a que deben estar disponibles físicamente en cada local (impresos), por eventuales fiscalizaciones de la inspección del trabajo. Esto significa que una hora de entrada, salida o colación dentro de esa semana que varíe es contado como un turno semanal distinto.

2.6. Agenda

Se necesita programar una agenda en la cual el personal de categorías de belleza y consumo puedan apoyar venta de farma en momentos que la demanda de estos sea baja. Para esto se define un umbral, el cual decide cuando la demanda es baja en cada periodo, para que así las categorías apoyen la venta en sector de farma, y también venta de productos de sus categorías en el mismo sector de farma. Como ilustración se muestra figura 2.1.

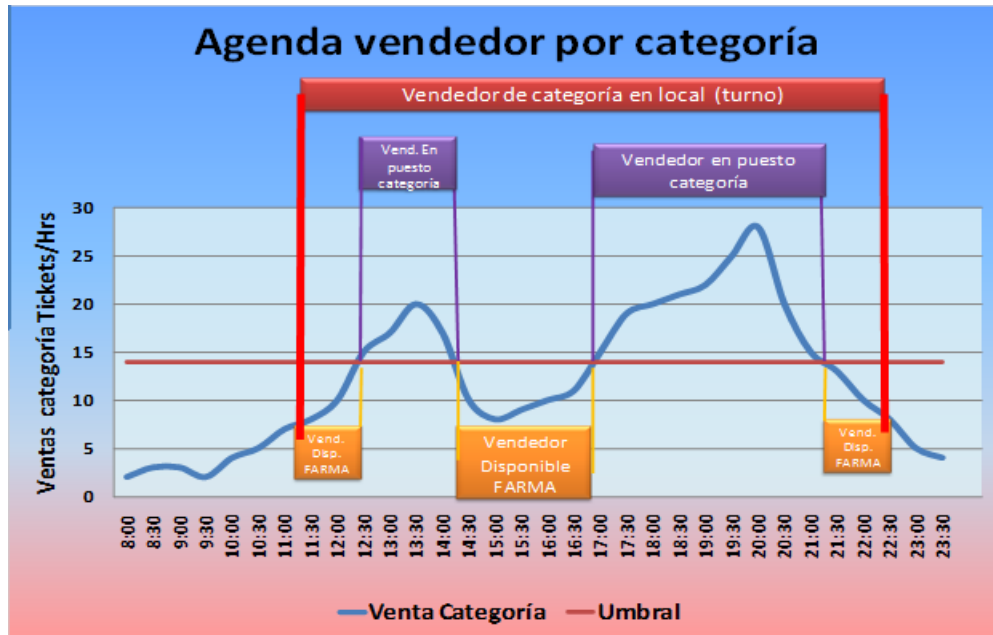


Figura 2.1: Agenda para personal de categorías.

En figura 2.1, el umbral está definido con la línea horizontal roja (cercano a 15), la cual indica que bajo esa cantidad de demanda proyectada, el vendedor de categoría de consumo y/o belleza debe permanecer en sector farma, apoyando venta de todo tipo. En caso contrario, permanece atendiendo en el sector de su categoría correspondiente.

Capítulo 3

Diseño y Definiciones del Sistema

3.1. Definiciones

El sistema trabaja con rangos de tiempos de media hora, esto significa que la mayoría de los parámetros y variables que dependen del tiempo están en esta unidad de tiempo. Entre ellos encontramos la proyección de demanda, turnos, y horarios de locales.

3.2. Creación de turnos

Debido a que los turnos considerados semanalmente deben ser finitos y no mayores a una cantidad definida, mirados de manera semanal estos deben ser creados de manera semimanual pensando en todos los tipos de locales y realidades. Debido a que los turnos deben ser acotados, no se puede crear una rutina dinámica que permita crear turnos de acuerdo a las necesidades de cada local, pues siempre se podría crear turnos distintos.

Para esto se hacen las siguientes consideraciones para la creación de un conjunto de turnos que consideren las realidades de los locales, y que atienden tanto las restricciones legales y de negocio de la compañía.

3.2.1. Patrones de horario semanal

Se define que los turnos dentro de una semana deben ser lo más regular posible, esto quiere decir que si una semana se asigna de mañana, la mayor parte de los días deben ser de mañana. En consecuencia, se definen 3 tipos patrones de horarios semanales, en los cuales se definen los horarios en los cuales cada uno pertenece. En cuadro (3.1) se muestra una definición regular de cada patrón para rotar al personal. Debido a que no todos los locales tienen el mismo horario, se definen grupos de patrones para tipos de locales con horarios similares. Se hace la distinción entre turno y patrón, ya que el turno semanal es aquel que establece el horario exacto que debe ingresar y salir cada día.

El patrón corresponde al rango de horario donde el turno semanal puede ser asignado. Por ejemplo, el patrón mañana puede ser definido de 9:00 a 18:00, y un turno semanal (que está contenido en el patrón) de 9:00 a 17:00 de lunes a sábado.

Cuadro 3.1: Patrón de horario estándar.

Patrón	Horario
Mañana	08:00- 18:59
Intermedio	11:00 - 20:59
Tarde	14:00- 24:00

Un ejemplo de cómo es una configuración de turno semanal se muestra en la figura 3.1.

Semana 1: 01/07/2013 al 07/07/2013		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total Horas
		Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	
NANCY DEL CARMEN ASTUDILLO 11477475 V. MULTIFUNCION C002	Ingreso	14:00	14:00	14:00		16:30	14:00	13:30	45.0
	Colación	17:00-17:29	17:00-17:29	17:00-17:29	-	18:30-18:59	17:00-17:29	18:00-18:29	
	Salida	21:59	21:59	21:59		21:59	21:59	23:59	
	Total	7:30	7:30	7:30		5:00	7:30	10:00	
JOSE MAURICIO ANTIFIL 12741303 V. MULTIFUNCION C002	Ingreso		08:00	08:00	08:00	08:00	09:00		45.0
	Colación	-	12:00-12:29	12:00-12:29	12:00-12:29	12:00-12:29	13:00-13:29	-	
	Salida		17:29	17:29	17:29	17:29	18:29		
	Total		9:00	9:00	9:00	9:00	9:00		
ALEJANDRA LUCIA AGUILAR 13091646 VENDEDORA C001	Ingreso	14:30	14:30	14:30	14:30		14:30		45.0
	Colación	18:00-18:29	18:00-18:29	18:00-18:29	18:00-18:29	-	18:00-18:29	-	
	Salida	23:59	23:59	23:59	23:59		23:59		
	Total	9:00	9:00	9:00	9:00		9:00		
SOLANGELA EUGENIA FERNANDEZ 13605448 VEND.MULTIFUNCION C002	Ingreso	11:30	11:30		11:30	11:30	11:30		45.0
	Colación	15:00-15:29	15:00-15:29	-	15:00-15:29	15:00-15:29	15:00-15:29	-	
	Salida	20:59	20:59		20:59	20:59	20:59		
	Total	9:00	9:00		9:00	9:00	9:00		
MALVINA ALEJANDRA SOTO 14399845 V. MULTIFUNCION C002	Ingreso	14:30	14:30	14:30	14:30		14:30		45.0
	Colación	18:00-18:29	18:00-18:29	18:00-18:29	18:00-18:29	-	18:00-18:29	-	
	Salida	23:59	23:59	23:59	23:59		23:59		
	Total	9:00	9:00	9:00	9:00		9:00		
EVARISTA SUSANA DUARTE 14641875 VEND.MULTIFUNCION C002	Ingreso	08:00	08:00	08:00	08:00	08:00		09:00	45.0
	Colación	11:00-11:29	11:00-11:29	11:00-11:29	11:00-11:29	12:30-12:59	-	11:00-11:29	
	Salida	15:59	15:59	15:59	15:59	17:59		14:59	
	Total								

Figura 3.1: Configuración de turno semanal para distintas personas.

3.2.2. Horarios de locales

Debido a que existen distintos tipos de horarios y los turnos son configurados de manera semanal, es necesario crear turnos básicos, que cubran los horarios de apertura, cierre, y horarios intermedios; también turnos factibles que puedan servir ante ausentismos y otros; que cumplan con los patrones de horarios, y además las restricciones de negocio de la empresa.

Debido a que existen locales que aperturan 5 a 7 días, es necesario crear turnos semanales que contengan días de trabajo de lunes a viernes, lunes a sábado, y lunes a domingo. Si bien la

creación de turnos con estos criterios asegura factibilidad en la gran mayoría de los casos, existirán excepciones, ya que la cantidad de turnos a usar es finita.

3.2.3. Descuento horas de trabajo en feriados y otros

Debido a feriados y ausentismos; este último debido a vacaciones, licencias, permisos y términos de contrato, se define un criterio de cuántas horas descontar al total de horas reales, dependiendo del tipo de contrato y horario del local. La horas de descuento en el día o días que esto ocurra se calculan de acuerdo al siguiente criterio:

$$Hor_Dscto_C = \frac{Hor_Contrato_C}{\text{Min}(Max_Dseg, \sum_{D \in Dias_Aper} Disp_{C,D})} \quad (3.1)$$

En la fórmula 3.1, $Hor_Contrato_C$ son las horas semanal de trabajo de cada contrato, $Disp_{C,D}$ disponibilidad de días de trabajo de cada contrato, $Dias_Aper$ días de apertura semanal de cada local (puede ser 5, 6 ó 7), y Max_Dseg máximo de 6 días consecutivos de trabajo. Así, por ejemplo un contrato disponibilidad full time de 45 horas semanales, en un local que apertura de lunes a sábado (días de apertura 6), las horas de descuento sería $Hor_Dscto_C = \frac{45}{\text{Min}(6,6)} = 7,5Hrs.$ Esto significa que si existe por ejemplo algún día dentro de los días de apertura en que el individuo no deba o pueda trabajar por motivos ya mencionados, entonces debe trabajar en esa semana $Hor_Contrato_C - Diasnotrab \cdot Hor_Dscto_C$. En el ejemplo descrito las horas a trabajar esa semana, suponiendo un solo día que no trabaja (a excepción del descanso), sería $45 - 1 \cdot 7,5 = 37,5Hrs.$

3.2.4. Generación de turnos

Los turnos se definen de manera semanal con su configuración día a día. Debido a que la mayoría de la contratos son tipo full-time 45 horas, es necesario entender como las restricciones legales influyen en la creación y uso de los distintos tipos de turnos. La restricción de mínimo de 2 domingos libres en el mes, y que además sea intercalado en conjunto con los 6 días máximos consecutivos de trabajo, implica necesariamente que hay semanas donde sólo se puede trabajar 5 días. Esto implica la creación de turnos de 9 horas regulares de 5 días (para poder cumplir las 45 horas semanales). Cuando existen feriados, ausentismos, licencias y/o vacaciones, se restan 7,5 horas por día para locales que abren 6 y 7 días, y 9 horas para locales que abren 5 días. Por lo cual es necesario crear combinaciones que contengan 7,5 y 9 horas por día. Todo esto, sólo para poder asegurar factibilidad. Para poder tener buenas asignaciones de turnos se debe tener una gran variedad de estos tipos de turnos durante todos los días. Por ejemplo, una asignación en condiciones normales es como la que se muestra en las figuras 3.2 y 3.3:

	Lu	Ma	Mie	Ju	Vi	Sa	Do	Total
S1	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	Libre	7,5	45 Hrs
S2	9	Libre	9	9	9	9	Intercalado	45 Hrs
S3	7,5	7,5	7,5	Libre	7,5	7,5	7,5	45 Hrs
S4	9	9	Libre	9	9	9	Intercalado	45 Hrs

Figura 3.2: Composición de turnos de 7,5 y 9 horas aseguran factibilidad en la mayoría de los casos.

	Lu	Ma	Mie	Ju	Vi	Sa	Do	Total
S1	9	Libre	9	9	9	9	Intercalado	45 Hrs
S2	7,5	7,5	7,5	7,5	7,5	Libre	7,5	45 Hrs
S3	9	9	Libre	9	9	9	Intercalado	45 Hrs
S4	7,5	7,5	7,5	Libre	7,5	7,5	7,5	45 Hrs

Figura 3.3: Los domingos intercalados son en días distintos en este caso.

Ambas figuras muestran composiciones habituales de turnos, donde los días libres son necesarios para respetar máximo de 6 días consecutivos trabajados. La rotación del personal hace que estas configuraciones sean similares dentro de los horarios de mañana, intermedio, y tarde. Para esto último, se crean turnos semanales de 7,5 horas diarias que empiecen a las 8, 8:30, y así sucesivamente hasta la media noche. Similarmente se hace lo mismo con turnos semanales de 9 horas diarias.

En la figura 3.4 se muestra como es una configuración con licencias y vacaciones que restan horas de trabajo semanal.

	Lu	Ma	Mie	Ju	Vi	Sa	Do	Total
S1	9	Libre	9	9	9	9	Intercalado	45 Hrs
S2	7,5	7,5	7,5	Licencia	Feriado	Libre	7,5	30 Hrs
S3	9	9	Libre	9	9	9	Intercalado	45 Hrs
S4	7,5	7,5	7,5	Libre	Vacacion	Vacacion	Vacacion	22,5 Hrs

Figura 3.4: Los turnos de 7,5 horas son los más necesarios para factibilidad.

En figura 3.5 turnos de 7,5 horas son necesarios cuando hay feriados y ausentismos para factibilidad de horas semanales, sin embargo, si esto ocurriera en las semanas donde se trabaja 5 días, es necesario turnos más flexibles que contengan 9 y 7,5 horas diarias en una semana. En caso contrario, no es posible asignar las horas semanales correspondientes sino las que se puedan. Para estos casos se crearon turnos que tuvieran estas características para mayor cobertura de factibilidad. Se muestra ejemplo en figura 3.5.

	Lu	Ma	Mie	Ju	Vi	Sa	Do	Total
S1	9,5	Libre	9,5	Licencia	9	9,5	Intercalado	45 Hrs
S2	7,5	7,5	7,5	Licencia	Feriado	Libre	7,5	30 Hrs
S3	7,5	Feriado	Libre	10	10	10	Intercalado	37,5 Hrs
S4	7,5	7,5	7,5	Libre	Vacacion	Vacacion	7,5	22,5 Hrs

Figura 3.5: Son necesarias 9,5 horas en algunos días para completar las 45 horas.

El resto de turnos pertenece a contratos part-time de 20, 25 y 30 horas con distintas disponibilidades (que en general son rígidas) dentro de la semana. Para esto, se identificaron todos los tipos de contratos y se crearon los turnos necesarios. En el caso que se contrata nuevo personal con disponibilidad horaria no existente, se debe crear, en caso de no existir, combinaciones de turnos semanales correspondientes a su disponibilidad para poder asignar.

En general los tipos de contrato part-time son de fin de semana como muestran las figuras 3.6, 3.7, y 3.8:

	Lu	Ma	Mie	Ju	Vi	Sa	Do	Total
S1					10	10	10	30 Hrs
S2					10	10	10	30 Hrs
S3					10	10	10	30 Hrs
S4					10	10	10	30 Hrs

Figura 3.6: Part-time 30 horas.

	Lu	Ma	Mie	Ju	Vi	Sa	Do	Total
S1					5	10	10	25 Hrs
S2					5	10	10	25 Hrs
S3					5	10	10	25 Hrs
S4					5	10	10	25 Hrs

Figura 3.7: Part-time 25 horas.

	Lu	Ma	Mie	Ju	Vi	Sa	Do	Total
S1						10	10	20 Hrs
S2						10	10	20 Hrs
S3						10	10	20 Hrs
S4						10	10	20 Hrs

Figura 3.8: Part-time 20 horas.

3.3. Filtro de turnos

El filtro de turnos es un proceso de la herramienta, que básicamente filtra del pool de turnos totales semanales todos aquellos turnos que no son factibles para el local dado sus restricciones. Entre estas condiciones encontramos; horario de local, disponibilidad de contrato, horas de contrato, inventarios, capacitaciones y media hora de colación máxima. La colación puede variar entre media hora y 4 horas. En Santiago es común media hora de colación, sin embargo, en regiones colaciones de mayor duración son usadas debido a que locales cierran en ese horario por baja demanda. Si bien la colación en uno u otro horario define otro tipo de turno semanal, en la práctica la colación es sólo sugerida, y por tanto el jefe de local decide a que hora los empleados pueden ir a colación.

Así por ejemplo, si en un principio hay 10.000 turnos semanales, cuando la herramienta procesa el filtro podrían quedar 1000 turnos semanales, e incluso distinta cantidad de turnos entre semanas, ya que las características de una semana y otra pueden variar, como por ejemplo el horario del local.

3.4. Proyección de demanda

La demanda proyectada que usa el modelo es un input de una demanda de acuerdo a las ventas de años históricos y una proyección básica creada por el usuario. Cabe mencionar que la estocasticidad o incertidumbre de la demanda no es considerada sino más bien se asume determinística. Los tickets o transacciones son clasificados de acuerdo al tiempo de atención de atender un ticket, el cual a la vez depende del número de SKU vendidos y medio de pago de la transacción.

De acuerdo a un factor definido por el usuario se hace una proyección de demanda en conjunto con la venta histórica. Esta proyección para cada modulo horario h y día d se calcula como sigue:

$$TP_{d,h} = TAA_{d,h} \cdot Ft_d \cdot Fc \quad (3.2)$$

$TP_{d,h}$: Demanda proyectada.

$TAA_{d,h}$: Transacciones de año anterior seleccionado según calendario equivalente.

$\overline{TAA_d}$: Ventas de año anterior seleccionado según calendario equivalente.

Fc : Factor de corrección mensual definido por usuario.

TPP_d : Transacciones presupuestadas en dinero.

Ft_d : Factor calculado de acuerdo a presupuesto para cada día.

$$Ft_d = \frac{TPP_d}{TAA_d}$$

d, h Días y medias horas pertenecientes al mes.

3.5. Tiempos de atención

De acuerdo a tiempos de atención medidos en locales se usan tiempos promedios de atención para cada modulo horario. Cabe considerar que en general los tiempos de atención dependen de la demanda en ese módulo, así cuando el local está con peak de clientes los tiempos de atención son más bajos (Se apuran en vender) y cuando la demanda es menor los tiempos de atención son más altos (La atención es más relajada) , por simplicidad, se usan tiempos promedios de atención. Los diferenciación de tiempos usados para cada tipo de ticket¹ se muestra en cuadro 3.2.

Cuadro 3.2: Tickets diferenciados por tiempos de atención.

Tipo pago	Nº SKU's	Tipo ticket
Efectivo	1-2	1
Efectivo	> 2	2
Tarjeta de crédito	1-2	3
Tarjeta de crédito	> 2	4
Tarjeta de convenios	1-2	5
Tarjeta de convenios	> 2	6
Devoluciones	Todos	7

3.5.1. Valor ticket

Este dato se calcula directo de la proyección de demanda de tickets y del presupuesto de venta que proyecta la compañía, así para cada local se calcula un valor ticket promedio para un mes en específico.

$$VALTICKET = \frac{\sum_{d \in MES} TPP_d}{\sum_{(d,h) \in MES} TP_{d,h}} \quad (3.3)$$

¹Ticket o transacción se usan indistintamente para representar una boleta ya sea vendida o que se proyecta.

Capítulo 4

Formulación modelo heurístico implementado

El modelo implementado es modelado en base a las características y requerimientos de la empresa presentado en capítulo 2, y las definiciones y diseños presentado en capítulo 3.

La problemática a resolver es encontrar los mejores turnos semanales para un periodo de un mes, de todo el personal sujeto a programación. Estos turnos deben cumplir toda la legalidad vigente, cumpliendo con las reglas de negocio de la compañía y cobertura de la demanda. Al comienzo se creó un modelo que abordara toda la problemática como un todo. Sin embargo, no fue factible debido a que resolver todo el mes completo, rotando y en un solo modelo en conjunto, genera muchas variables y restricciones que hacen que los tiempos computacionales se escapen del tiempo estimado de corrida, debido a su tamaño y complejidad.

Para esto se dividió el modelo en 3 partes para disminuir la complejidad y los tiempos de resolución. Así, el modelo implementado se particiona en 3 etapas; primero se resuelve como el personal rota cada semana, segundo se resuelve asignación de domingos del mes, y tercero se resuelve el resto de los días del mes. En otras palabras, es un problema anidado resuelto en 3 etapas. Al hacer esta partición, las restricciones de rotación son resueltas en la primera parte y las restricciones de domingos son resuelta en la segunda parte. Estos dos problemas son modelos pequeños y de poco tiempo de resolución, dejando para la tercera y última etapa la resolución de los demás días del mes. Se considera como input la decisiones tomadas en la parte de rotación para el modelo de domingo, y la de rotación y domingo para el modelo semanal. Esto hace que las variables y restricciones sean menores en cada etapa, obteniendo un modelo con tiempos razonables de resolución, con una despreciable pérdida en la calidad de la solución.

El modelo que resuelve las categoría de consumo y belleza es similar al modelo que asigna a los vendedores, sin embargo es resuelto antes y separado pues se necesita ser asignado de acuerdo a su demanda, con lo cual el objetivo de asignar a cada personal de categorías de acuerdo a su demanda y maximizar beneficio total, son objetivos distintos a priori. Por esto se generan los turnos de las categorías distintamente. Sin embargo, la información de la asignación de las categorías es utilizada como input para los demás modelos, ya que cierta demanda ya está siendo cubierta por personal de categoría.

La heurística para los reponedores, personal que no está sujeto a ventas, se resuelve en un sólo modelo ya que el personal no está sujeto a rotación, y por consiguiente no hay problemas de tiempos de ejecución. El modelo de dotación óptima, que determina el personal correcto para cada local, no se resuelve de la misma manera. Debido a que este modelo no supone rotación de personal y otras restricciones de negocio, y además las decisiones de un modelo y otro, en forma anidada, no necesariamente son iguales, es mejor tener un único modelo que resuelva esta problemática, con tiempos de resolución aceptables, debido a que no tienen todas las restricciones del modelo original.

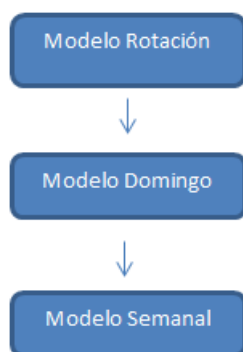


Figura 4.1: Secuencia de resolución de las 3 etapas de la heurística.

4.1. Modelo rotación

Este modelo busca la mejor combinación de rotatividad, cumpliendo con proporción de patrones de asignación en cada semana. Esto es modelado a través de un modelo de programación lineal entero mixto.

El problema recibe como entrada las personas a rotar dentro del mes (pues no todas rotan), en conjunto con la proporción a cumplir de cada patrón de cada semana. El output entregado es con qué patrón debe trabajar cada persona en cada semana para el mes en operación. Los patrones son

los horarios en los cuales los turnos deben circunscribirse.

4.1.1. Variables

- $X_{i,s,p}$: 1 si individuo i trabaja en semana s con patrón p , 0 de otra manera.
- $Y_{i,s,ss}$: 1 si individuo i tiene mismo patrón p en semana s y ss , las cuales son contiguas, 0 de otra manera .
- $Z_{p,s}$: Proporción de patrón p no cumplido en semana s .
- $CP_{p,i}$: Patrón p no cumplido al mes.

4.1.2. Conjuntos y parámetros

- I : individuos a rotar.
- S, SS : Semanas dentro del mes.
- P : Tipos de patrones a cumplir.
- ISP : Patrones p factibles que puede cumplir individuo i en semana s , $ISP \subseteq I \times S \times P$.
- IP : Patrones p a cumplir individuo i como mínimo dentro del mes, $IP \subseteq I \times P$.
- $Prop_p$: Porcentaje de personas a asignar en cada semana para patrón p .
- C : Costo por no cumplir proporción de patrón en cada semana.

4.1.3. Función objetivo

Se busca que las personas roten de una semana a otra dentro de un mes, en otras palabras, se busca minimizar la cantidad de veces que no rota cada persona de una semana a otra. También que esa rotación cumpla con cierta proporción de cada patrón para cada semana (En relación a la demanda), y que esa rotación sea pareja o equitativa.

$$\text{Min} \quad \sum_{\substack{i \in I \\ s, ss \in S \\ s=ss-1}} Y_{i,s,ss} + \sum_{\substack{p \in P \\ s \in S}} c \cdot Z_{p,s} + \sum_{(i,p) \in IP} CP_{p,i} \quad (4.1)$$

4.1.4. Restricciones

- ★ Cuenta cuántas veces no es posible rotar para cada persona de una semana a otra, dentro de todo el mes

$$X_{i,s,p} + X_{i,ss,p} - 1 \leq Y_{i,s,ss} \quad \forall (i, s, p) \in ISP, s \geq 1, s = ss - 1 \quad (4.2)$$

- ★ Para cada semana se debe elegir algún patrón para cada persona

$$\sum_{p \in ISP} X_{i,s,p} = 1 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (4.3)$$

- ★ Cada patrón debe estar presente al menos una vez al mes para cada persona

$$\sum_{s \in ISP} X_{i,s,p} \geq 1 - CP_{p,i} \quad \forall (i, p) \in IP \quad (4.4)$$

- ★ Cumplir proporción de personas asignadas en patrones en cada semana

$$\sum_{i \in ISP} X_{i,s,p} \geq Prop_p - Z_{p,s} \quad \forall p \in P, \forall s \in S \quad (4.5)$$

4.2. Modelo domingo

Este modelo recibe como entrada la información de proyecciones de ventas, tiempos de atención, horarios, personas y contratos para los domingos del mes en programación. El output es la mejor asignación de turnos para los domingos que cumple con todas las condiciones legales y de negocio de la empresa.

4.2.1. Conjuntos

- C : Tipos de contratos.
- I : Individuos.
- S : Semanas.
- A : Tipos de tickets diferenciados por tiempos de atención.
- D, \bar{D} : Domingos del mes.
- H, \bar{H} : Media horas del día.
- T : Tipos de turnos.
- CI : Conjunto de individuos perteneciente a contrato c , $CI \subseteq C \times I$.
- CSI : Personal que debe tener mínimo de descanso los domingos, $CS \subseteq C \times I$.
- HOR : Horario del local, $HOR \subseteq D \times H$.
- SD : Días d pertenecientes a semana s , $SD \subseteq S \times D$.
- \tilde{T} : Turnos factibles para individuo I de contrato c . $\tilde{T} \subseteq C \times I \times D \times T$.

4.2.2. Parámetros

- V : Margen ticket promedio.
- $TC_{d,h,a}$: Proyección de demanda por cada tipo en cada periodo.
- F_a : Ponderador para convertir tickets en recursos de personas.
- ST_a : Tiempos de atención de cada tipo de ticket.
- MD : Máximo de domingos consecutivos trabajados al mes.
- MS : Máximo de domingos a asignar en el mes.

- MP : Mínimo de personas que debe haber en cada momento.
- C : Costo por no asignar el mínimo personal requerido en cada periodo.
- $XC_{d,h}$: Número personal de categorías asignadas en día d periodo h .

4.2.3. Variables

- $X_{c,i,d,t}$: 1 si individuo i de contrato c trabaja día d con turno t , 0 sino.
- $i_{d,h}$: Número de personas requeridas no satisfecha en día d en periodo h .
- $s_{d,h}$: Número de personas sobre el requerido en día d en periodo h .
- $F_{d,h}$: 1 sino está asignado el mínimo de personal requerido para día d y periodo h , 0 sino.

4.2.4. Función objetivo

Se maximiza la cobertura de demanda y se minimiza la cobertura de mínimo de personal.

$$\text{Max } V \cdot \left[\sum_{(d,h) \in HOR, a \in A} (TC_{d,h,a} - F_a \cdot i_{d,h}) \right] - \sum_{(d,h) \in HOR} [C \cdot F_{d,h}] \quad (4.6)$$

4.2.5. Restricciones

Restricciones legales

- ★ No se puede asignar 2 domingos consecutivos.

$$\sum_{\substack{dd \in D \\ d - (MD+1) < dd \leq d \\ dd > 0}} X_{c,i,dd} \leq MD \quad \forall (c,i) \in CSI, \forall d \in D \quad (4.7)$$

- ★ Mínimo 2 domingos libres al mes.

$$\sum_{d \in D} (1 - Z_{c,i,d}) \geq MS \quad \forall (c,i) \in CSI \quad (4.8)$$

Restricciones de Negocio

★ Demanda no satisfecha.

$$\sum_{a \in A} \frac{TC_{d,h,a} \cdot ST_a}{30} - \left[\sum_{(c,i,d,h,t) \in \tilde{T}} X_{c,i,d,t} + XC_{d,h} \right] \leq i_{d,h} \quad \forall (d,h) \in HOR \quad (4.9)$$

★ Demanda sobre satisfecha.

$$\sum_{(c,i,d,h,t) \in \tilde{T}} [X_{c,i,d,t} + XC_{d,h}] - \sum_{a \in A} \frac{TC_{d,h,a} \cdot ST_a}{30} \leq s_{d,h} \quad \forall (d,h) \in HOR \quad (4.10)$$

★ Mínimo de vendedores en cada momento.

$$\sum_{(c,i,d,h,t) \in \tilde{T}} X_{c,i,d,t} \geq MP - F_{d,h} \quad \forall (d,h) \in HOR \quad (4.11)$$

4.3. Partición modelo semanal

Este modelo recibe como entrada la información de proyecciones de ventas, tiempos de atención, horarios, personas y contratos para todos los días restantes del mes (lunes a sábado) en programación. El output es la mejor asignación de turnos que cumple con todas las condiciones legales y de negocio de la empresa.

4.3.1. Conjuntos

- C, \bar{C} : Tipos de contratos.
- I, \bar{I} : Universo de individuos.
- S, \bar{S} : Semanas del mes.
- D : Días del mes.
- H, \bar{H} : Media horas de un día.
- A : Tipos de tickets diferenciados por tiempos de atención.
- T : Diferentes tipos de turnos.
- CI : Individuos pertenecientes a cada contrato, $CI \subseteq C \times I$.
- CSI : individuo-contrato que rige mínimo de domingos de descansos al mes, $CS \subseteq C \times I$.
- CEI : Individuo-contrato que pueden tener horas extras, $CEI \subseteq C \times I$
- CID : Días potenciales de pago de día libre por concepto de feriados $CID \subseteq C \times I \times D$.
- HOR : Horario de local, $HOR \subseteq D \times H$.
- SD : Días pertenecientes a cada semana, $SD \subseteq S \times D$.
- FER : Feriados dentro del mes, $FER \subseteq D$.
- $CIST$: Turnos factibles semanales para cada individuo-contrato. $CIST \subseteq C \times I \times S \times T$.
- $CIST$: Configuración por día de cada turno semanal factible para cada individuo-contrato. $CISDT \subseteq C \times I \times S \times D \times T$.
- $CISDHT$: Configuración dentro de cada día de cada turno semanal factible para cada individuo-contrato. $CISDHT \subseteq C \times I \times S \times D \times H \times T$.

4.3.2. Parámetros

- V : Valor promedio de cada ticket.
- $TC_{d,h,a}$: Demanda proyectada de tickets para cada día, por media hora, y tipo de ticket.
- F_a : Factor para convertir requerimiento de personas en requerimientos de tickets.
- M : Máximo de días consecutivos que se puede trabajar.
- MHD : Máximo de medias horas de trabajo ordinarias en un día, sin considerar horas extras.
- MHE : Máximo de medias horas extras por día.
- ST_a : Tiempo de atención diferenciados por tipo de ticket a .
- MP : Mínimo de personal farma que debe haber en todo momento.
- $CHEc$: Costo de cada media hora extra por contrato.
- C : Costo por no tener personal mínimo requerido en cada momento.
- DSC_c : Número de medias horas de descuento a horas semanales debido a feriado, ausentismo o pago de día libre.
- $HRS_{c,i,s}$: Horas de contrato a cumplir semanalmente.
- $XC_{d,h}$: Número de personal de categorías asignado en cada momento.
- Delta de dirac para saber días feriados

$$\delta_{d \in FER} = \begin{cases} 1 & d \in FER \\ 0 & d \notin FER \end{cases}$$

- $\tilde{D}_{c,d,i}$: 1 si individuo i de contrato c trabaja domingo d proveniente de solución de modelo de domingo, 0 sino.

4.3.3. Variables

- $X_{c,i,s,t}$: 1 si individuo i perteneciente a contrato c trabaja semana s con turno t , 0 sino.
- $Z_{c,d,i}$: 1 si individuo i perteneciente a contrato c trabaja día d , 0 sino.
- $Y_{c,i,d}$: 1 si individuo i perteneciente a contrato c no trabaja feriado d , 0 sino.

- $i_{d,h}$: Número de personas requeridas no satisfecha en día d en periodo h .
- $s_{d,h}$: Número de personas sobre el requerido en día d en periodo h .
- $HES_{c,i,s}$: Número de medias horas extras trabajadas de individuo i perteneciente a contrato c para la semana s .
- $HED_{c,i,d}$: Número de medias horas extras trabajadas de individuo i de contrato c para día d .
- $P1_{c,i,d}$: 1 si individuo i de contrato c es compensado con día libre d por haber trabajado feriado, 0 sino.
- $P2_{c,i,d}$: 1 si individuo i de contrato c es compensado con pago en dinero por haber trabajado feriado, 0 sino.
- $F_{d,h}$: 1 sino está asignado el mínimo de personal requerido para cada periodo.

4.3.4. Función objetivo

Se maximiza la cobertura de la demanda, en conjunto con pago de horas extras, pagos por feriados y costo por no cumplir mínimo de personal.

$$\begin{aligned}
\text{Max } V \cdot [& \sum_{(d,h) \in HOR, a \in A} (TC_{d,h,a} - F_a \cdot d_{d,h}) \\
& - [\sum_{(c,i) \in CI, s \in S} CHE_c \cdot (HES_{c,i,s} + \sum_{(d,s) \in SD} [HED_{c,i,d}]) \\
& + \sum_{(d,h) \in HOR} [C \cdot F_{d,h}] + \sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} CP \cdot P_{c,i,s,t}]
\end{aligned} \tag{4.12}$$

4.3.5. Restricciones

Restricciones legales

- ★ Máximo de 6 días consecutivos trabajados.

$$\sum_{\substack{dd \in D \\ d-(M+1) < dd \leq d \\ dd > 0}} [Z_{c,dd,i} + \tilde{D}_{c,dd,i}] \leq M \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \tag{4.13}$$

- ★ Cumplir horas semanales de contrato, ajustado con feriados, días libres, ausentismos, y horas extras.

$$\begin{aligned}
\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] &= HRS_{c,i,s} + \sum_{(c,i) \in CEI} HES_{c,i,s} \\
+ \sum_{(s,d) \in SD} HED_{c,i,d} + \sum_{(s,d) \in SD} [DSCTO_c \cdot (Z_{c,i,d} - P1_{c,i,d})] \\
\forall (c,i) \in CI, \forall s \in S
\end{aligned} \tag{4.14}$$

- ★ Máximo de horas regulares a trabajar en un día más horas extras.

$$\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \leq MHD + HED_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \tag{4.15}$$

- ★ Máximo horas extras totales semanales el cual depende de los días trabajados a la semana.

$$HES_{c,i,s} + \sum_{(s,d) \in SD} HED_{c,i,d} \leq MHE \cdot \sum_{(s,d) \in SD} Z_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall s \in S \tag{4.16}$$

- ★ Día feriado trabajado debe ser compensado con algún día libre en el mes o con pago de dinero.

$$\sum_{d \in FER} Z_{c,i,d} = \sum_{(c,i,d) \in CID} P1_{c,i,d} + \sum_{d \in FER} P2_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI \tag{4.17}$$

- ★ Si se paga feriado compensado con día libre, ese día no se trabaja.

$$Z_{c,i,d} \leq 1 - P1_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \tag{4.18}$$

- ★ Trabaja si es que se asigna turno ese día trabaja, y además para días feriados se decide si trabajar o no.

$$Z_{c,i,d} \leq \sum_{(c,i,s,d,t) \in CISDT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \tag{4.19}$$

- ★ Se activa que trabaja solo si escoge un turno que trabaje ese día.

$$\sum_{(c,i,s,d,t) \in CISDT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \leq Z_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \tag{4.20}$$

Restricciones de negocio

★ Demanda no satisfecha.

$$\sum_{a \in A} \frac{TC_{d,h,a} \cdot ST_a}{30} - \left[\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] + XC_{d,h} \right] \leq i_{d,h} \quad \forall (d, h) \in HOR \quad (4.21)$$

★ Demanda sobre satisfecha.

$$\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] + XC_{d,h} - \sum_{a \in A} \frac{TC_{d,h,a} \cdot ST_a}{30} \leq s_{d,h} \quad \forall (d, h) \in HOR \quad (4.22)$$

★ Mínimo personal en todo momento.

$$\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} X_{c,i,s,t} \geq MP - F_{d,h} \quad \forall (d, h) \in HOR \quad (4.23)$$

4.4. Modelo dotación óptima

Este modelo permite conocer cual es la dotación óptima de cada local. Siendo una versión simplificada y más idelista de la operación diaria, pues no considera ausentismos, actividades, patrones, y otros. Se diseñó de esa forma para poder saber el personal justo que debería haber en cada local. Las contingencias son abordadas en el modelo operacional.

El modelo es muy similar al modelo operacional, sin embargo, no está dividido en modelo domingo y semanal, sino que se resuelve en un único modelo. Es un solo modelo para simplificar las dificultades que ocasiona que las decisiones de modelos separados en etapas concuerden en la contratación del personal correcto.

Las parametrizaciones básicas que deben configurarse son las siguientes: qué tipos de contratos son contratables para el modelo, ya sea full-time, part-time, etc; número de vendedores mínimos y máximo a contratar por cada tipo de contrato. Es muy importante el costo de cada tipo de contrato (costo empresa), ya que este valor tiene un rol preponderante en cuánto personal se decidirá contratar de cada tipo, y el trade-off de satisfacer demanda versus contratar a alguien más.

El modelo matemático es una extensión del modelo semanal y de domingo en uno solo, en el cual solo se agregan las restricciones de contratación y sus costos en la función objetivo. Se usan las mismas variables por simplificación. A continuación sólo se enuncian las restricciones extras para que contrate personal:

- $W_{c,i}$: 1 si se contrata individuo i de contrato c , 0 sino.
- Si se contrata individuo se puede asignar turno

$$\sum_{(c,i,s,t) \in CIST} X_{c,i,s,t}/s \leq W_{c,i} \quad \forall (c,i) \in CI \quad (4.24)$$

- Los individuos son contratados en orden ascendente para no generar múltiples soluciones

$$W_{c,i} \geq W_{c,i+1} \quad \forall (c,i) \in CI \quad (4.25)$$

- Se debe contratar mínimo personal seteado

$$\sum_{(c,i) \in CI} W_{c,i} \geq MIN_c \quad \forall c \in C \quad (4.26)$$

La restricción de máximo personal contratado está inserta en cada restricción como cota.

4.5. Modelo reponedores

Este modelo se rige por una hora preferente de asignación del personal, que tiene que ver con la hora que llegan camiones para la reposición, la cual alrededor de ésta se debe maximizar cobertura y que el personal no se traslape. Los reponedores no tienen que rotar como el personal de venta, sino mas bien se rigen solo por las leyes laborales. El modelo se detalla en apéndice A 8.1.

4.6. Algoritmo general de la heurística

En figura 4.2 se muestra el algoritmo cuando se ejecuta un local para un mes de programación.

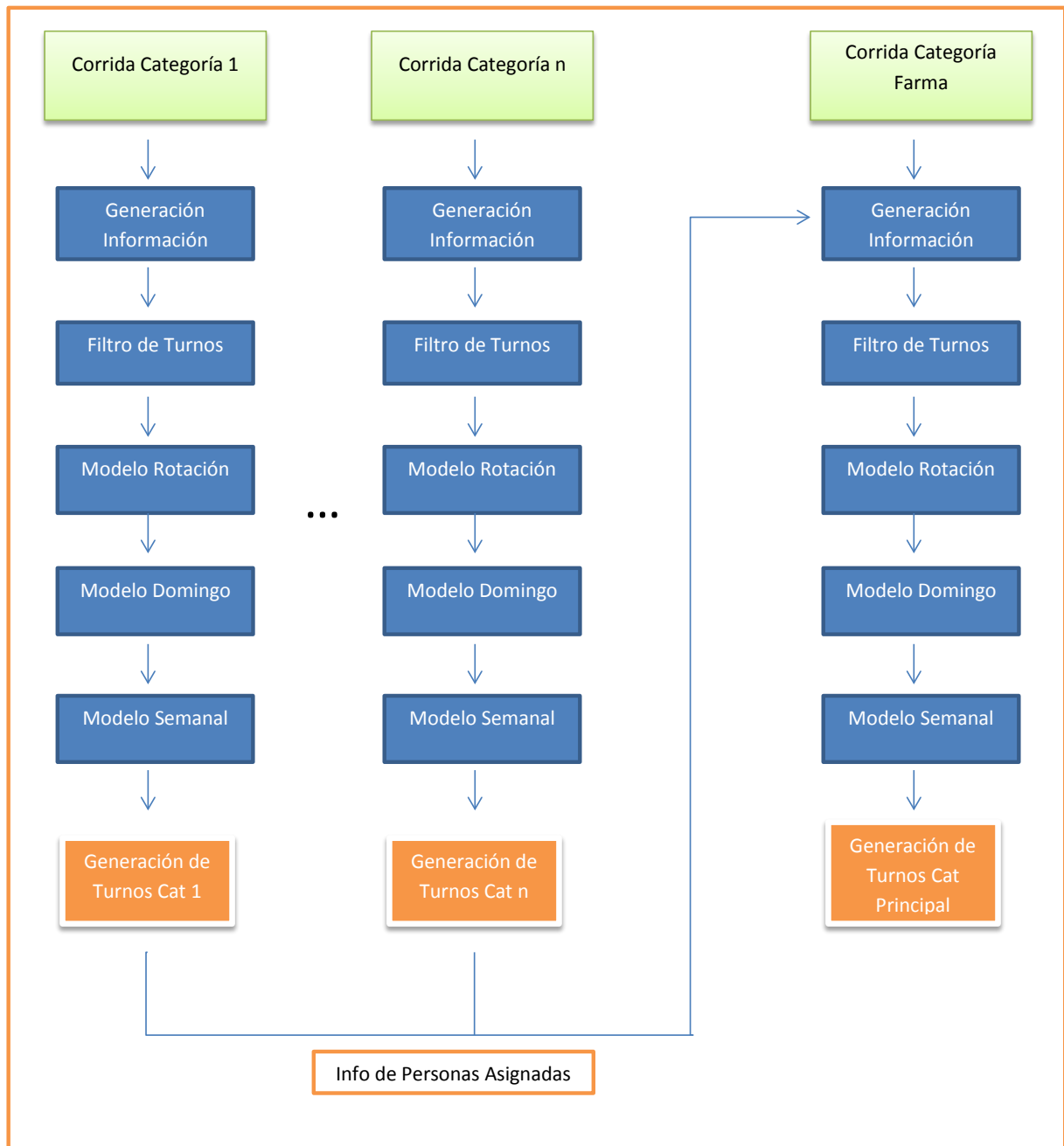


Figura 4.2: Secuencia de resolución de la heurística, incluyendo categorías y rutinas de la aplicación.

Capítulo 5

Metodología generación de columnas

Se desarrolla una metodología paralela de comparación a la heurística implementada para saber que tan buena es la solución de un óptimo en el cual se generan turnos. Para esto se utilizan las restricciones más importantes del modelo implementado. Por otro lado, se relajan algunas que no son necesarias mantener para la comparación.

En un sentido más amplio, la generación de columnas se encuentra inserta dentro de una metodología Branch & Price. Ésta consiste en ir fijando variables enteras en un árbol de Branch & Bound (que se va formando por las variables que se van fijando como enteras o desigualdades que dividen el espacio) e ir buscando el óptimo en cada nodo a través de un generación de columnas o también llamada generación de variables. La metodología se compone de 2 problemas iterativos: uno es el problema maestro, que básicamente resuelve el problema principal con una cantidad finita de variables; y el subproblema o pricing, que es el que genera más variables (turnos) que son beneficiosas para el problema maestro. Se itera en el problema maestro agregando variables hasta que ya exista beneficio por generar otra variable o turno en este caso.

En la figura 5.1 se muestra como opera el algoritmo Branch & Price a modo general.

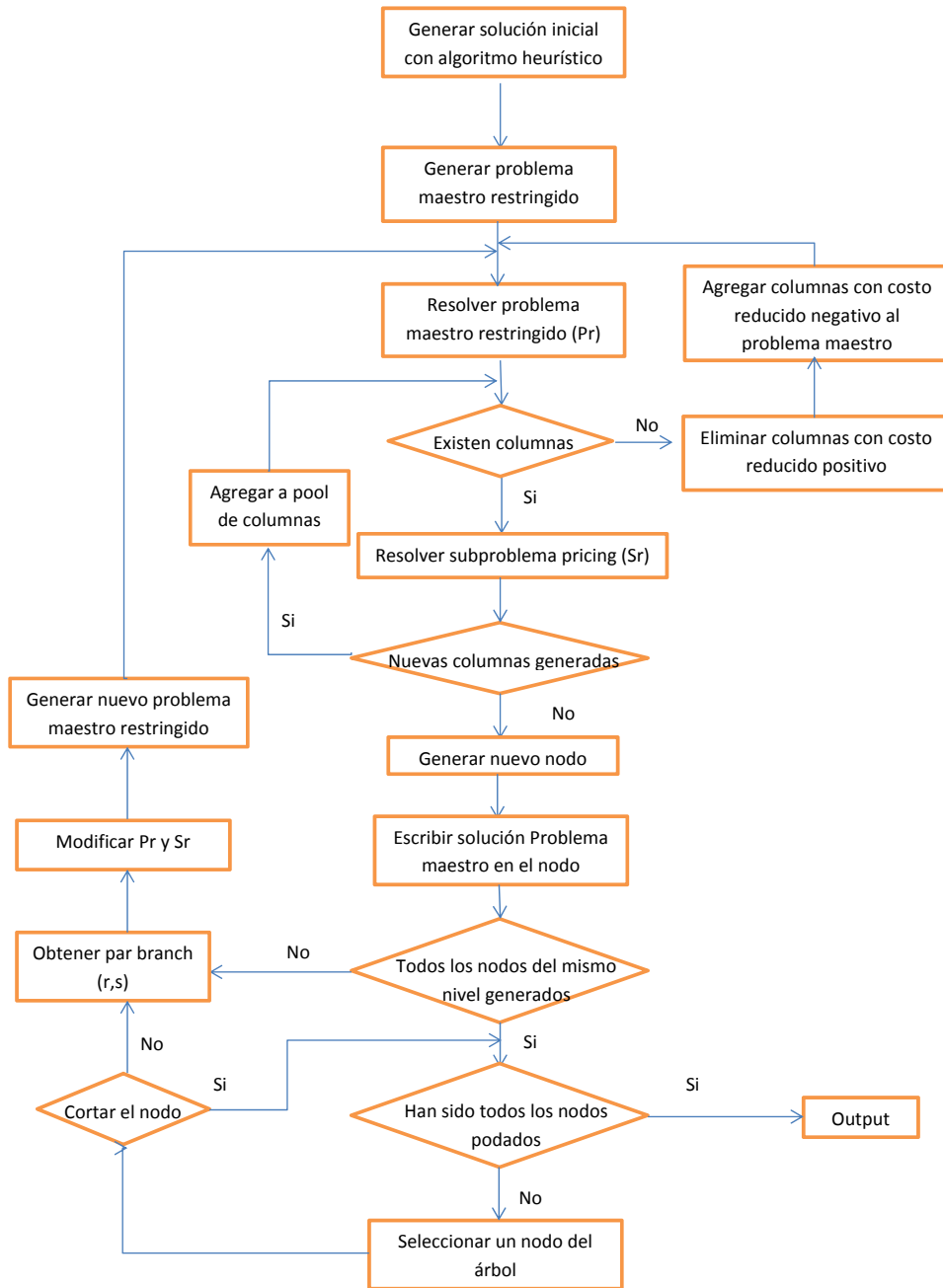


Figura 5.1: Algoritmo general Branch & Price.

5.1. Introducción

El problema maestro consisten en resolver, dentro de un pool finito de turnos, que turnos son los más adecuados para cada persona, cumpliendo con las restricciones legales y de negocio de la compañía.

El subproblema genera o crea los turnos más beneficiosos con información obtenida de los costos reducidos entregada por el problema maestro. Se genera el turno que tenga el mayor costo reducido, el cual hace que esta variable al entrar al problemas maestro maximize la función objetivo. Básicamenete este modelo genera un turno mensual que cumple con todas las restricciones legales para cada persona. Las restricciones legales básicas que modela son las siguientes:

- Máximo de 6 días trabajados consecutivos.
- Al menos 2 domingos de descanso dentro del mes para contratos disponibilidad Full time.
- Máximo de 10 horas de trabajo regulares por día.
- Cualquier feriado trabajado debe ser compensado ya sea con dinero o algún día libre dentro del periodo.
- Debe existir una diferencia de 12 horas entre un turno y el siguiente.
- Se limita a 2 horas el uso de horas extras diarias, y por ende a 12 horas extras semanales.

5.2. Supuestos y relajaciones

El objetivo de hacer una metodología de generación de columnas es encontrar cotas al problema original con ciertos supuestos de relajación para simplificación. Estas relajaciones solo amplían el espacio de solución, no afectando que siga siendo una cota del problema original.

La relajación más importante es que no necesariamente se deben cumplir las horas de contrato, pues esta restricción resulta ser muy dura para la generación de turnos, y además en el óptimo no necesariamente se necesita el uso total de ellas. Sin embargo, se setea un costo por no cumplir las horas de contrato, que corresponde al costo de hora extra.

5.3. Formulación del modelo

El problema maestro y subproblema son formulaciones de problemas lineales enteros mixtos. Para agilizar convergencia al principio se desarrolla una heurística de generación de columnas tipo greedy (GCG), que hace uso de los costos reducidos para generar turnos buenos al comienzo.

5.3.1. Problema maestro

Este problema resuelve la optimización de satisfacción de demanda en conjunto con las restricciones de local y de negocio, enunciadas a continuación:

- Siempre debe haber un vendedor asignado en todo momento.
- Cubrir los requerimientos de demanda.

Conjuntos

- I : Personal.
- H, \bar{H} : Periodos.
- A : Tipos de tickets.
- P : Tipos de turnos generados.
- PI : Tipos de turnos posibles para persona i . $PI \subseteq P \times I$
- PIH : Si individuo i trabaja con turno p en horario h . $PIH \subseteq P \times I \times H$

Parámetros

- V : Valor ticket promedio.
- $TC_{h,a}$: Proyección de demanda para cada periodo.
- F_a : Ponderador para convertir personas a tickets.
- ST_a : Tiempos de atención.
- $CT_{p,i}$: Costo turno p para individuo i .
- C : Costo si no hay personas asignadas en algún periodo.
- XC_h : Número de personas en categorías.
- MP : Mínimo de personal farma que debe haber en todo momento.

Variables

- $X_{p,i}$: 1 si persona i trabaja con turno p .
- i_h : Insatisfacción de demanda.
- s_h : Sobredotación de demanda.
- F_h : 1 si en periodo h no hay personas asignadas.

Función objetivo

Se busca maximizar la satisfacción de demanda, considerando los costos de los turnos, y los costos por no cumplir con mínimo de personal.

$$\text{Max } V \cdot \left[\sum_{h \in H, a \in A} (TC_{h,a} - F_a \cdot ID_h) \right] - \sum_{(p,i) \in PI} CT_{p,i} \cdot X_{p,i} - \sum_{h \in H} [C \cdot F_h] \quad (5.1)$$

Restricciones

- ★ Demanda no satisfecha

$$\sum_{a \in A} \frac{TC_{h,a} \cdot ST_a}{30} - \left[\sum_{(p,i,h) \in PIH} X_{p,i} + XC_h \right] \leq i_h \quad \forall h \in H \rightarrow D1_h^{dual} \quad (5.2)$$

- ★ Demanda sobre satisfecha

$$- \sum_{a \in A} \frac{TC_{h,a} \cdot ST_a}{30} + \left[\sum_{(p,i,h) \in PIH} X_{p,i} + XC_h \right] \leq s_h \quad \forall h \in H \rightarrow D2_h^{dual} \quad (5.3)$$

- ★ Siempre debe haber un vendedor en el local

$$\sum_{(p,i,h) \in PIH} X_{p,i} \geq MP - F_h \quad \forall h \in H \rightarrow MINP_h^{dual} \quad (5.4)$$

- ★ Asignar solo un turno por persona

$$\sum_{(p,i) \in PI} X_{p,i} = 1 \quad \forall i \in I \rightarrow TR_i^{dual} \quad (5.5)$$

Restricciones para branching

- ★ Branching para acotar asignación hacia cajón superior

$$\sum_{(p,i,h) \in PIH} X_{p,i} + XC_h \geq RB1_h \quad \forall h \in H \rightarrow RB1_h^{dual} \quad (5.6)$$

- ★ Branching para acotar asignación hacia cajón inferior

$$\sum_{(p,i,h) \in PIH} X_{p,i} + XC_h \leq RB2_h \quad \forall h \in H \rightarrow RB2_h^{dual} \quad (5.7)$$

5.3.2. Subproblema o problema pricing (GCE)

Este problema resuelve la generación de un turno mensual para una persona dada, con ciertas características, maximizando los costos reducidos del problema maestro, y además considerando los costos asociados al generar el turno.

A continuación se formula la función objetivo y restricciones:

Conjuntos

- Todas estas definiciones son para el individuo i .
- D, \bar{D} : Todos los días en el mes.
- \hat{D} : Días que pueden ser pagados como días libres por pago de feriado trabajado (Se excluyen en días que hayan ausentismos, feriados o que local no abre).
- H, \bar{H} : Medias horas del día ($24*2=48$ medias horas).
- S : Semanas en el mes.
- DS : Días correspondientes a cada semana, $DS \subseteq D \times S$.
- HOR : Periodos h correspondientes al día d cruzado con disponibilidad de individuo i , $HOR \subseteq D \times H$.
- HRI : Periodos de inicio de un turno dentro de día d , $HRI \subseteq D \times H$.
- HRF : Periodos de termino de un turno dentro de día d , $HRF \subseteq D \times H$.
- $HRCI$: Periodos de inicio de la colación de día d , $HRCI \subseteq D \times H$.
- $HRCF$: Periodos de termino de un turno dentro de dia d , $HRCF \subseteq D \times H$.
- DOM : Domingos del mes, $DOM \subseteq D$.
- FER : Feriados del mes (excepto domingos), $FER \subseteq D$.
- DP : Días potenciales de trabajo (que el local abra, dentro de disponibilidad individuo i), $DP \subseteq D$.

Parámetros

- $D1_{h,d}^{dual}$ = Duales provenientes del problema maestro.
- $D2_{h,d}^{dual}$ = Duales provenientes del problema maestro.
- $R_B1_{h,d}^{dual}$ = Duales provenientes del problema maestro.
- $R_B2_{h,d}^{dual}$ = Duales provenientes del problema maestro.
- $MINP_{h,d}^{dual}$ = Duales provenientes del problema maestro.
- TR_i^{dual} = Duales provenientes del problema maestro.
- MT = Mínimo de horas que debe tener un turno diario.
- $MT2$ = Mínimo de horas entre un turno y el siguiente.
- MHD = Máximo de horas ordinarias en un día (sin contar horas extras).
- IC_d = Horas de capacitación o inventario en día d .
- $MB1$ = Mínimo de horas de turnos que deben tener 1 media hora de colación (5 horas).
- $MB2$ = Mínimo de horas de turnos que deben tener 1 hora de colación (9 horas).
- $MDSEG$ = Máximo de días consecutivos trabajados.
- $MDOM$ = Mínimo de domingos libres al mes.
- HRS_s = Horas a cumplir según contrato en semana s .
- $DSCTO$ = Descuento proporcional (a su disponibilidad y horas de contrato) de horas para cuando el trabajador esté ausente o descuento de feriados dentro de una semana.
- FER_s = Número de feriados que corresponde de acuerdo a disponibilidad, ausentismos u otros.
- $HDES$ = Máximo de horas des-extras a la semana (solo para factibilidad). Estas son las horas faltantes para cumplir las horas de contrato semanal.
- M = Valor usado como cota en ciertas restricciones.
- PD = Disponibilidad efectiva de venta al inicio y termino de turno, debido a apertura y cierre de caja.
- P = Turnos ya generados.

- $TG_{p,h,d} = 1$ si turno p ya generado trabaja en periodo h y día d .
- $CTHE =$ Costo media hora extra.

Variables enteras positivas

- $HED_d =$ Horas extras día d .
- $HR_d =$ Horas trabajadas día d .
- $HDES_s =$ Horas des-extras semana s .
- $HES_s =$ Horas extras en semana s .

Variables binarias

- $TI_{h,d} = 1$ si turno comienza en periodo (h, d) , 0 de otra manera.
- $TF_{h,d} = 1$ si turno termina en periodo (h, d) , 0 de otra manera.
- $TCI_{h,d} = 1$ si colación comienza en periodo (h, d) , 0 de otra manera.
- $TCF_{h,d} = 1$ si colación comienza en periodo (h, d) , 0 de otra manera.
- $P1_d = 1$ si día feriado d trabajado es pagado con día libre, 0 de otra manera.
- $P2_d = 1$ si día feriado d trabajado es pagado con plata, 0 de otra manera.
- $z_d = 1$ si trabaja día d , 0 de otra manera.
- $\widehat{P}2_{h,d} = 1$ si se paga periodo (h, d) trabajado en día feriado.

Variables

- $CT = 1$ Costo turno generado.
- $T_{h,d} = 1$ si vende en periodo (h,d) (pues puede trabajar haciendo inventario o capacitación el cual no es un turno en el modelo, sino un horario donde no hay disponibilidad para vender). Esta variable podría haber sido definida antojadizamente binaria, sin embargo, agregando ciertas restricciones se fuerza a que sea 1 o 0 de todas maneras, para así tener menos variables enteras que agregan complejidad y agrandan un Branch & Bound al resolver el modelo.

Función objetivo a maximizar

Se maximiza el costo reducido para cada individuo

$$\begin{aligned} \text{Max } \underbrace{CR_{I,T}}_{\text{Costo Reducido}} &= -CT + \sum_{(h,d) \in HOR} [D1_{h,d}^{dual} - D2_{h,d}^{dual} - MINP_{h,d}^{dual} - R_{B1}_{h,d}^{dual} - R_{B2}_{h,d}^{dual}] T_{h,d} \\ &- \sum_{(h,d) \in HOR} (1 - PD)(D1_{h,d}^{dual} - D2_{h,d}^{dual})(TF_{h,d} + TI_{h,d}) - TR_i^{dual} \end{aligned} \quad (5.8)$$

Restricciones

★ Si escoge turno inicial debe escoger turno final dentro de un día

$$\sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d} = \sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d} \quad \forall d \in D \quad (5.9)$$

★ A lo más un turno al día

$$\sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d} + \sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d} \leq 2 \quad \forall d \in D \quad (5.10)$$

★ Final siempre mayor a inicial en mínimo de horas de turno, cuando exista turno

$$\sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d} h - \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d} h \geq \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d} MT \quad \forall d \in D \quad (5.11)$$

★ Mínimo de horas entre un turno y el siguiente

$$\sum_{(h,d+1) \in HRI} TI_{h,d+1} h - \sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d} h \geq \sum_{(h,d+1) \in HRI} TI_{h,d+1} MT2 \quad \forall d \in D \quad (5.12)$$

★ Máximo de horas ordinarias por día

$$HR_d \leq MHD + HED_d \quad \forall d \in D \quad (5.13)$$

★ Horas trabajadas por día debe ser igual a horas de turno asignado

$$HR_d = \sum_{(h,d) \in HRI \cup HRF} T_{h,d} \quad \forall d \in D \quad (5.14)$$

- ★ Conservación de flujo diaria, final+1- inicial - colación debe ser igual a medias horas trabajadas en total

$$\begin{aligned} \sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d}(h+1) - \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d}h + \sum_{(h,d) \in HRCF} TCF_{h,d}(h+1) \\ - \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d}h = \sum_{(h,d) \in HR} T_{h,d} \quad \forall d \in D \end{aligned} \quad (5.15)$$

- ★ Si existe inicio de colación debe haber fin de colación, en caso contrario ninguna se activa

$$\sum_{(h,d) \in HRCF} TCF_{h,d} = \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d} \quad \forall d \in D \quad (5.16)$$

- ★ Desactivar horas después del término del turno

$$\sum_{\substack{(hh,d) \in HR \\ hh > h}} T_{hh,d} \leq 24 * (1 - TF_{h,d}) \quad \forall (h,d) \in HRF \quad (5.17)$$

- ★ Desactivar horas antes del inicio del turno

$$\sum_{\substack{(hh,d) \in HR \\ hh < h}} T_{hh,d} \leq 24 * (1 - TI_{h,d}) \quad \forall (h,d) \in HRI \quad (5.18)$$

- ★ Activar inicio de colación

$$T_{h,d} \leq 1 - TCI_{h,d} \quad \forall (h,d) \in HRCI \quad (5.19)$$

- ★ Activar fin de colación

$$T_{h,d} \leq 1 - TCF_{h,d} \quad \forall (h,d) \in HRCF \quad (5.20)$$

- ★ No más de una hora de colación

$$\sum_{(h,d) \in HRCF} TCF_{h,d}(h+1) - \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d}h \leq 2 \quad \forall d \in D \quad (5.21)$$

★ Turnos con más de 5 horas deben tener media hora de colación

$$\left(\sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d}(h+1) - \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d}h - CL1 \right) / 24 \leq \sum_{(h,d) \in HRCF} TCF_{h,d}(h+1) - \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d}h \quad \forall d \in D \quad (5.22)$$

★ Turnos con más de 9 horas deben tener 1 hora de colación

$$\left(\sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d}(h+1) - \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d}h \right) / CL2 \leq \sum_{(h,d) \in HRCF} TCF_{h,d}(h+1) - \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d}h + \left(1 - \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d} \right) \quad \forall d \in D \quad (5.23)$$

★ Inicio de colación debe estar desde la mitad-1 (del turno) hacia arriba

$$\left[\sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d}h - \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d}h \right] / 2 \leq \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d}h + \left(1 - \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d} \right) 48 \quad \forall d \in D \quad (5.24)$$

★ Fín de colación debe estar hasta la mitad+1 (del turno) hacia abajo

$$\left[\sum_{(h,d) \in HRF} TF_{h,d}h - \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d}h \right] / 2 + 1 \geq \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d}h + \left(1 - \sum_{(h,d) \in HRCI} TCI_{h,d} \right) 48 \quad \forall d \in D \quad (5.25)$$

★ Máximo 6 días trabajados

$$\sum_{\substack{dd \in D \\ d - (MDSEG+1) \leq dd \leq d}} z_{dd} \leq MDSEG \quad \forall d \in D \quad (5.26)$$

★ Trabaja día d si existe turno, inventario y/o capacitación

$$\left[\sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d} + IC_d \right] / (1 + IC_d) \leq z_d \quad \forall d \in D \quad (5.27)$$

- ★ Desactivar variable z (saber si trabaja) cuando no haya inventario y/o capacitación o turno (esto para que z no se active en feriados en que no se trabaja)

$$z_d \leq \sum_{(h,d) \in HRI} TI_{h,d} + IC_d \quad \forall d \in D \quad (5.28)$$

- ★ Un mismo domingo no puede ser día de descanso por mínimo de domingos y pago de feriado a la vez. Es uno o lo otro

$$\sum_{d \in DOM} 1 - z_d - P1_d \geq MDOM \quad (5.29)$$

- ★ Activar pago en plata por feriado trabajado cuando corresponda

$$\widehat{P2}_{d,h} + T_{h,d} = P2_d \quad \forall d \in FER, \forall (d,h) \in HRF \cup HRI \quad (5.30)$$

- ★ Desactivar pago en plata cuando no trabaje feriado

$$\widehat{P2}_{d,h} \leq T_{h,d} \quad \forall d \in FER \quad (5.31)$$

- ★ Día feriado trabajado se paga con día libre o se paga en dinero

$$\sum_{d \in FER} z_d = \sum_{d \in \widehat{D}} P1_d + \sum_{d \in FER} P2_d \quad (5.32)$$

- ★ Si se paga día libre, ese día no se trabaja

$$z_d \leq 1 - P1_d \quad \forall d \in \widehat{D} \quad (5.33)$$

- ★ Cumplir horas a la semana, ajustado a descuentos por feriados, días libres de pago, suma de horas por trabajar feriados y horas extras

$$\begin{aligned} \sum_{(d,s) \in DS} HR_d &= HRS_s + HES_s + \sum_{(d,s) \in DS} HED_d + \sum_{\substack{d \in FER \\ (d,s) \in DS}} z_d \cdot DSCTO \\ &- \sum_{\substack{d \in \widehat{D} \\ (d,s) \in DS}} P1_d \cdot DSCTO - HDES_d \quad \forall s \in S \end{aligned} \quad (5.34)$$

★ Costo del turno mensual por concepto de horas extras, des-extras, y pago en feriados

$$CT = \left[\sum_{s \in S} HES_s + \sum_{d \in D} HED_d + \widehat{P}_{2,d,h} \right] CTHE \quad (5.35)$$

★ No generar turnos ya creados

$$\sum_{(h,d) \in HRF \cup HRI} PG_{p,h,d} + \sum_{(h,d) \in HRF \cup HRI} T_{h,d}(1 - 2PG_{p,h,d}) \geq 1 \quad \forall p \in P \quad (5.36)$$

★ Variable si trabaja en cada periodo no puede ser mayor que 1

$$T_{h,d} \leq 1 \quad \forall (h,d) \in HRF \cup HRI \quad (5.37)$$

5.3.3. Cota al problema usando costos reducidos

Para poder obtener cotas del problema, se utilizan los cotos reducidos. Una cota de la solución es dada por la siguiente ecuación:

$$Z_{LP}^{MAX} \leq Z_{RLP}^{MAX} + \sum_{i \in I} \max_{j \in J_i} CR_j^i \quad (5.38)$$

Se obtiene en cada iteración el mejor costo reducido potencial para cada persona $\max_{j \in J_i} CR_j^i$. Para obtener la cota se suma a la solución del problema restringido Z_{RLP}^{MAX} (Técnicamente solución LP, se corre el problema maestro no entero y se obtiene el mejor posible que entrega cplex, best possible) del problema maestro el mejor costo reducido de cada persona CR_j^i . Esta fórmula es demostrada en [18] para una función de minimización, ver apéndice D D para adaptación en una maximización. De este modo, el mejor valor Z_{LP}^{MAX} está acotado por la fórmula 5.38.

5.3.4. Heurística de generación de columnas greedy al inicio (CGC)

Para partir con turnos factibles buenos y agilizar la convergencia hacia buenas cotas, se desarrolla una generación de columnas tipo greedy, que básicamente va creando horas de trabajo para una persona en los días de mayor costo reducido, y buscando dentro del día aquellos que tienen mayor beneficio análogamente.

Para esto se trabaja con turnos tipo factibles en las horas a asignar diariamente, para así poder cumplir con restricciones de feriados y ausentismos más ágilmente. Segundo, se relaja que las horas

a asignar semanalmente sean las horas de contrato, sino que pueden ser más o menos horas de contrato de acuerdo lo que sea más beneficioso y factible para el greedy.

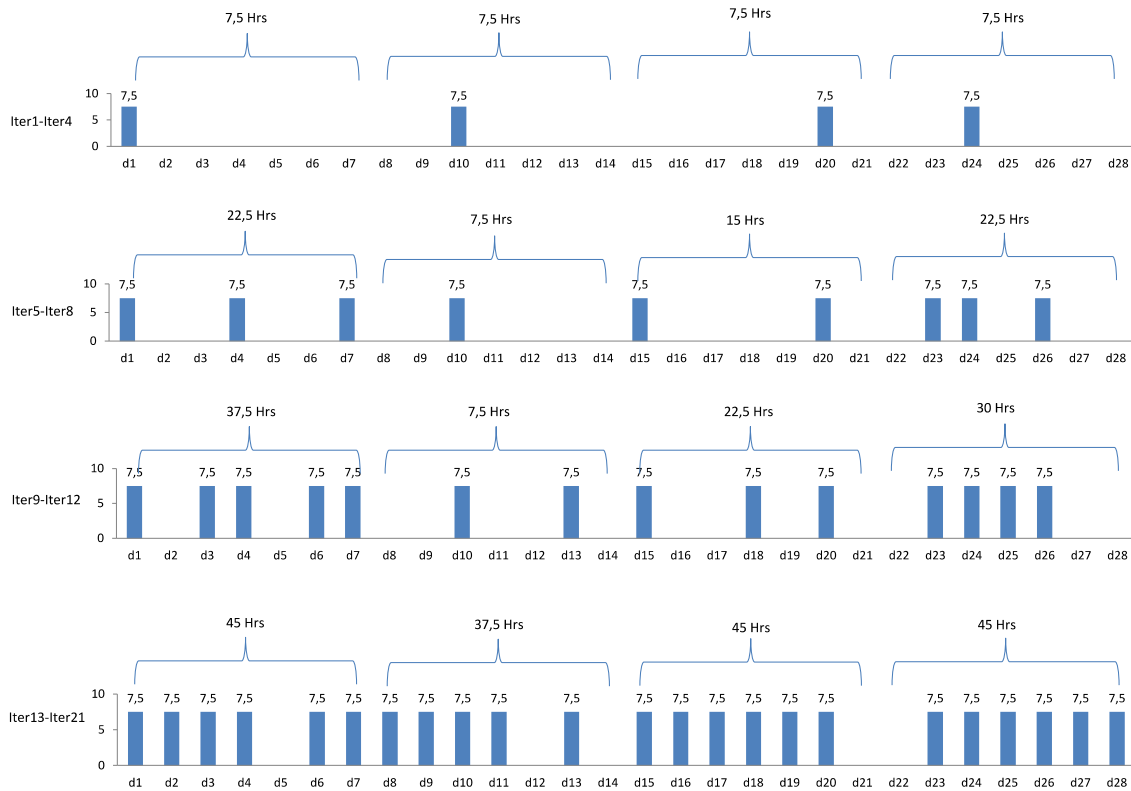


Figura 5.2: Ejemplo gráfico de cómo va iterando la heurística greedy.

En la figura 5.2 se comienza asignando turnos diarios factibles, básicamente de 7,5 horas (9 horas para locales que aperturan 5 días) para contratos full-time, en aquellos días con mayor costo reducido o mayor beneficio para cada semana, esto hasta ocupar todas las horas disponibles, ó si es necesario ocupar horas extras. Al mismo tiempo se van chequeando que las restricciones legales; 12 horas entre un día y el siguiente, máximo 6 días seguidos de trabajo, mínimo de domingo de descanso, y horas extras máximas semanales, no sean violadas. Para los días que son feriados, se hace el supuesto que las horas trabajadas esos días son pagadas monetariamente y no con día libre, esto último para que el greedy sea más eficiente y no mire tantas opciones de asignación.

El algoritmo de generación de columnas greedy se detalla a continuación:

Algoritmo 1 Generación de columnas greedy

```

1: while  $Hrdisp \geq Minhrasig$  do
2:    $Dasig \leftarrow \max_{D \in Disp} Costreduc_D$  //Guardar mejor dia
3:    $Disp(Dasig) \leftarrow null$  //
4:   if  $Dasig = DomandDtrab \geq Maxdom$  then
5:      $Dfact \leftarrow True$ 
6:   end if
7:   if  $Validar_{maxdseg}(Dasig) = False$  then
8:      $Dfact \leftarrow True$  // Se chequea 12 hrs y si no hay ausentismos
9:   end if
10:  for  $D, D = Dasig$  and  $Dfact = True$  do
11:    if  $Buscarturno_D = True$  then
12:       $Saveturno_D \leftarrow \max_{H \in Hor_D} Costreductur_{D,H}$  //Escoger el mejor turno del dia
13:       $Dfact \leftarrow True$ 
14:    end if
15:     $Hrturno \leftarrow Buscarturno.hr$ 
16:  end for
17:  if  $Dasig = Dom$  then
18:     $Domtrab \leftarrow Domtrab + 1$ 
19:  end if
20:  for  $S, Dasig \in S$  do
21:     $Hrdisp_S \leftarrow Hrdisp_S - Hrturno$ 
22:     $Dtrab_{Dasig} \leftarrow Yes$ 
23:  end for
24: end while

```

5.3.5. Reglas de branching

En un principio se pensó en reglas de branching para poder visitar más nodos, además del nodo raíz. En la práctica solo se hizo generación de columnas en el nodo raíz. De todas maneras se detalla los tipos de branching a aplicar. Se definieron 2 reglas; partición binaria 1-0 de las variables y división del espacio a través de restricciones de desigualdad.

Branching binario 1-0

Esta regla de branching básicamente fija las variables binarias o enteras del problema maestro, en este caso la variable que escoge que turno toma cada individuo, $X(I, P)$. Así, para el hijo izquierdo del nodo se fija variable en 0, y para hijo derecho se fija en 1 para mantener la completitud del espacio, ya que son los 2 únicos valores posible que puede tomar cada variable del tipo $X(I, P)$.

En la figura 5.3 se muestra a modo de ejemplo como se van fijando las variables en cada nodo para tipo de branching binario 1-0.

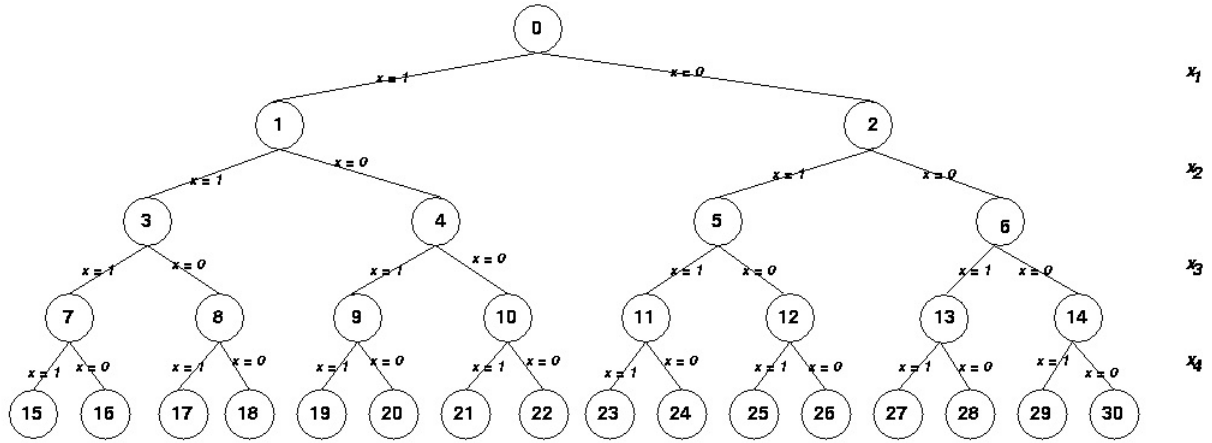


Figura 5.3: Ejemplo de árbol a recorrer para 4 personas y sólo un turno por cada persona.

El orden por el cual se van fijando las variables depende de cual es la que tiene el valor más cercano a 1, por ejemplo si tuviéramos que $X_{I_1, T_1} = 0.7, X_{I_2, T_1} = 0.65, X_{I_3, T_1} = 0.8, X_{I_4, T_1} = 0.9$, la primera variable en fijar en 1 sería X_{I_4, T_1} .

En los nodos donde las variables están fijadas en 0, el árbol en estas hojas puede seguir creciendo tanto como turnos se sigan generando en aquellas variables que no están fijadas.

Branching fijando desigualdades

Esta regla de branching fija restricciones de desigualdad que involucra la asignación de todas las variables para un periodo determinado, así por ejemplo se divide el espacio en nodo hijo izquierdo

$\sum_{(i,p) \in IP} X_{I,P}TUR_{H,P}$, hijo derecho $\sum_{(i,p) \in IP} X_{I,P}TUR_{H,P} < \lfloor M \rfloor$. Donde M es la asignación total fraccionaria en ese periodo. Se van fijando de acuerdo a las más cercanas al entero próximo, por ejemplo, si la asignación de un total de 3 periodos es $M_1 = 2.7, M_2 = 3.5, M_3 = 1.9$, se hace branching con las desigualdades $\sum_{(i,p) \in IP} X_{I,P}TUR_{3,P} \geq \lceil M_3 \rceil = 2$ y $\sum_{(i,p) \in IP} X_{I,P}TUR_{3,P} < \lfloor M_3 \rfloor = 1$.

En anexo B se detalla algoritmo general de Branch & Price.

Capítulo 6

Implementación

En esta sección se presenta cómo fue implementada la herramienta, cómo así también como fueron superadas dificultades técnicas a nivel de modelo para disminuir tiempos de resolución. Además, se describe el impacto de implementar nuevos tipos de turnos para los trabajadores. Se sugiere dónde hay posibles aumentos de ventas y se justifica la operación de la herramienta monetariamente.

6.1. Plataformas y lenguajes usados para desarrollo

Los modelos de optimización fueron desarrollados en GAMS versión 23.6 con solver Gurobi. Para la arquitectura y entorno de la aplicación completa se usó Java SE 1.4 para servicio, Java EE 1.6 para interfaces web, y base de datos Oracle 10G. El software se encuentra instalado en los 3 ambientes del servidor linux del cliente: desarrollo, QA, y producción, este último donde se operan los turnos para ser enviados hacia los locales mensualmente. Se crearon sistémicamente 4 colas lo cual permite ejecutar 4 instancias. En otras palabras, se permite que 4 instancias de locales (que entrega los turnos del mes completo) se ejecutan paralelamente. El tiempo de resolución de 4 instancias paralelas promedia los 50 minutos. Dado este paralelismo, el tiempo promedio efectivo por local es 12 minutos.

Hoy se encuentran aproximadamente 100 locales en funcionamiento, cada mes se están agregando más locales en la fase de roll out, hasta llegar a la implementación de la cadena completa. En la figura 6.1 se muestra cómo se monitorea los locales en la gestión de turnos mensual.

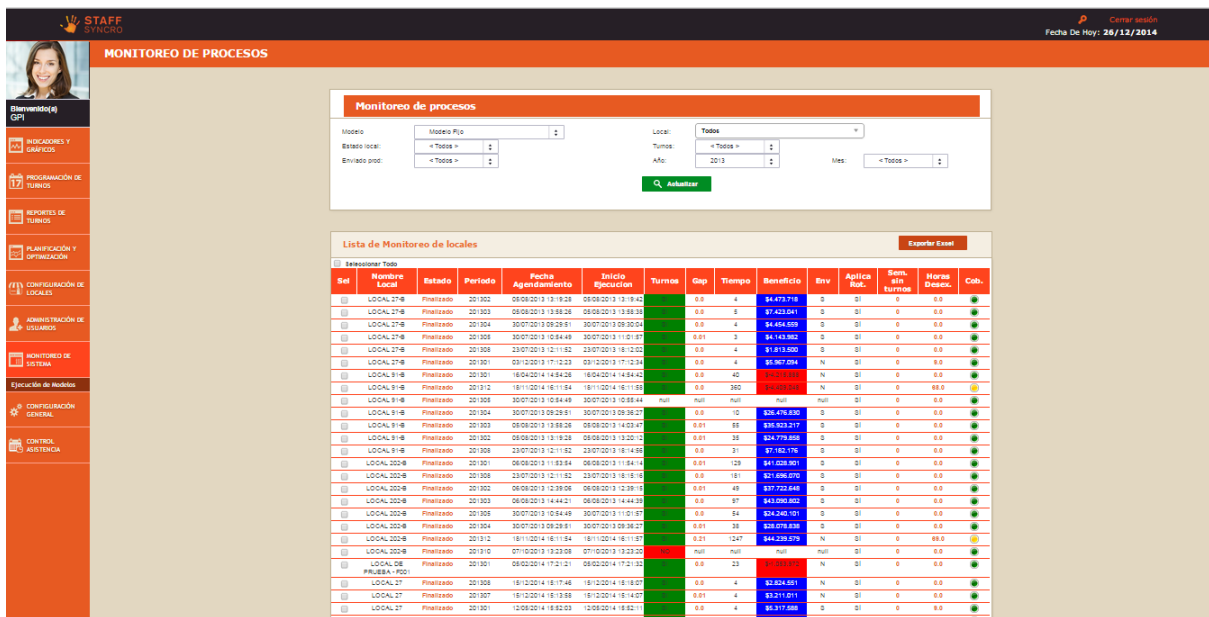


Figura 6.1: Reporte de estado de corrida para cada local.

En la figura 6.2 se muestra cómo se despliegan los turnos en la aplicación.

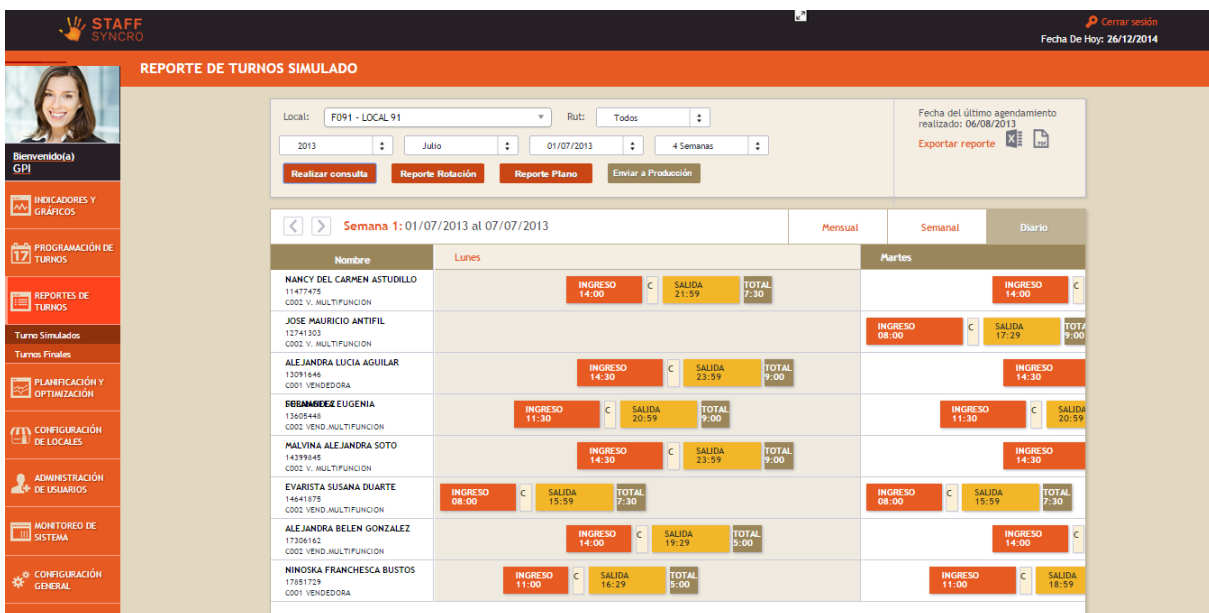


Figura 6.2: Reporte de turnos semanales con información de horarios diarios y horas semanales a trabajar.

6.2. Dificultades y soluciones técnicas en el desarrollo

En un principio se pensó en una solución que resolviera todo en un solo modelo. Como consecuencia del tamaño del problema, los tiempos de resolución se escaparon de todo parámetro. Algunas instancias tomaban más de 5 horas en terminar y con un error (gap) mayor a 30%, por lo cual

la eficiencia y eficacia del modelo debían ser mejoradas. Haciendo un análisis de las restricciones y variables gravitantes, la rotación del personal agregaba enorme complejidad al modelo. Ante esto se decidió resolver esta parte en una etapa previa, pues lo que sólo se busca es una rotación semanal, y por ende el desprendimiento de este parte para resolverlo separado no fue una complicación. Los locales que tomaban mayor tiempo de resolución eran aquellos que aperturan 7 días, ya que más condiciones debido a los domingos de descanso y máximo 7 días seguidos de trabajo consecutivo, producían un problema más grande, y por ende más complejo y con mayores tiempos de ejecución. Por otro lado, locales que aperturan 6 días, tienen un tiempo de resolución aceptable, para lo cual se decidió hacer la separación de resolver en primera instancia sólo los domingos del mes, y después los días restantes del mes, que equivale a resolver un local que apertura 6 días. Para determinar si esta separación disminuía los tiempos, se probó si la resolución de sólo resolver domingos agrega tiempos que sean razonables. Dado que la pruebas determinaron que la partición disminuye los tiempos entre 40-60 minutos para locales que abren domingos, se decidió implementar esta heurística. La separación tuvo sus complejidades, ya que las combinaciones de turnos semanales están ligadas semanalmente, por lo cual al escoger un turno de domingo, inmediatamente limitaba la cantidad de combinaciones semanales que puede ser elegidas en la semana. Para perjudicar la calidad de solución de manera tangencial, se crearon suficientes combinaciones semanales ligadas a turnos de domingos que más se usaban. Así, a pesar de que el modelo de domingo escoge un turno específico, para la semana quedan muchas combinaciones para cumplir las condiciones de negocios y laborales. Se crearon aproximadamente 4.000 combinaciones semanales adicionales, las cuales estaban ligadas a turnos de domingos más usados.

Como moraleja, modelos lineales entero mixtos, sobre todo con muchas variables binarias y/o enteras, en donde se requiere resolver o modelar muchas realidades complejas, es imperativo analizar qué variables y restricciones son las que agregan mayor complejidad, para así poder relajarlas, separarlas o modelarlas de otra manera. Heurísticas de separación, problemas anidados, problemas de flujo, programación de restricciones (Constraint programming) y otras técnicas son muy útiles para resolver y poner en práctica un problema real enorme que parece intratable en un comienzo. Sin embargo, es importante identificar lo que se desea resolver como eje, para luego ir priorizando que va teniendo más relevancia al momento de modelarlo con la metodología escogida.

6.3. Dificultades y soluciones en la implementación en locales

Principalmente para los colaboradores, una gestión del cambio más profunda por parte de la empresa era necesaria, ya que al comienzo no pocos locales se resistían a cumplir los nuevos turnos pues ellos no tenían claro las ventajas y desventajas de esta nueva forma de trabajar. Por ejemplo, muchos de ellos no sabían que este sistema establece mayor equidad de comisiones (dado por la rotación), entrega de turnos con 2 semanas de anticipación para el siguiente mes completo, lo cual permite a los trabajadores programarse con mayor certidumbre. Si bien, todavía existen locales que no respetan el cumplimiento de los turnos, más de la mitad lo acatan en más de un 70 %.

6.4. Aumentos potenciales de ventas y justificación de la operación del sistema

En lo que respecta a la actual dotación de personal en locales pilotos (Locales WF, de workforce), se considera que en la zona extremo norte se presenta un déficit principalmente en Antofagasta; lo que pudiera presentar una buena oportunidad para capturar venta en caso de poder aumentar la dotación. Existe la oportunidad de aumentar la venta, en locales ubicados en supermercados y malls; por medio de la contratación de vendedores jornadas parcial día domingo especialmente, debido a que en este tipo de locales la participación de las ventas para los días sábados y domingos bordea el 35 % de las ventas. Los domingos existe un barrera legal de descanso, por esto mismo es importante considerar contratos part-time tipo fin de semana, que no están sujetos a esta restricción. En términos macros, se aprecian pocas posibilidades de disminuir la dotación en locales sin generar un menoscabo significativo en la venta y/o servicio, sin embargo, sí es posible reasignar dotación entre locales desde una perspectiva más objetiva al interior de cada administración zonal y/o regional.

El ahorro estimado en horas extras, aproximadamente \$3,7 millones mensuales, permite financiar la operación mensual del proyecto. Se estima que 1 analista debería administrar unos 50-60 locales para hacer un uso eficiente de la aplicación, y por consiguiente entre 6-7 analistas para administrar la cadena completa de locales.

Capítulo 7

Resultados

En este capítulo se presentan los principales resultados a nivel de impacto en KPI's relevantes. Se analizan como hubieran sido la asignación de turnos, productividades y uso de horas en comparación a lo que se hacía antes. Como resultados reales se miden ventas, comisiones, uso de horas extras, y costos de personal con la implementación de los turnos, y aislando variables no atribuibles a la herramienta, para así entregar resultados propios del sistema y sus mejoras.

7.1. Resultados modelo heurístico implementado

La herramienta implementada respeta en primera instancia todas las restricciones laborales vigentes. Desde una mirada macro, las personas son asignadas en los periodos de mayor demanda, con excepciones, los cuales se deben a una combinación de falta de turnos y/o más horas de trabajo debido a subdotación de personal, en donde son arregladas manualmente por los analistas que administran el sistema. La herramienta permite que ya no se generen derechos adquiridos debido a que todo el personal full-time está sujeto a rotación. También se evita que los locales sean multados por infringir las leyes laborales, ya que el sistema no lo permite.

7.1.1. Resultados para la compañía

Para un análisis realizado a los primeros locales en piloto las ventas aumentaron en 0,5%, las horas extras disminuyeron 36% y las comisiones para los trabajadores aumentaron en 1%. Todo esto no solo se debe a una mejor asignación de turnos, sino también debido a una disminución de derechos adquiridos (personal con turnos fijos) que producen trabas e inflexibilidad de asignación.

Los ahorros en costos de personal se estimaron en 2,5%, este análisis se hizo con ayuda del modelo de dotación óptima. En principio, se esperaba un ahorro de costos entre un 5%-10%, sin embargo, debido a que la empresa fue vendida, la nueva controladora decidió disminuir costos en

toda la compañía (no solo vendedores sino también personal administrativo), lo cual dejó muy poco espacio para la optimización del personal.

Por otro lado, se hace cumplimiento cabal de las horas de contrato, haciendo un mejor uso en comparación a lo que se venía haciendo, donde en promedio la asignación de horas semanales para contratos full-time era de 40 horas de un total de 45, un 11 % menos de lo estipulado. El cumplimiento de las leyes laborales evita multas por infracción, no obstante, no evita otras como asuntos de higiene, condiciones laborales, seguridad, entre otros.

7.1.2. Análisis computacional de uso de horas y asignación de turnos

En figura 7.1 se muestra para una semana la cantidad de horas asignadas semanalmente para 4 locales.

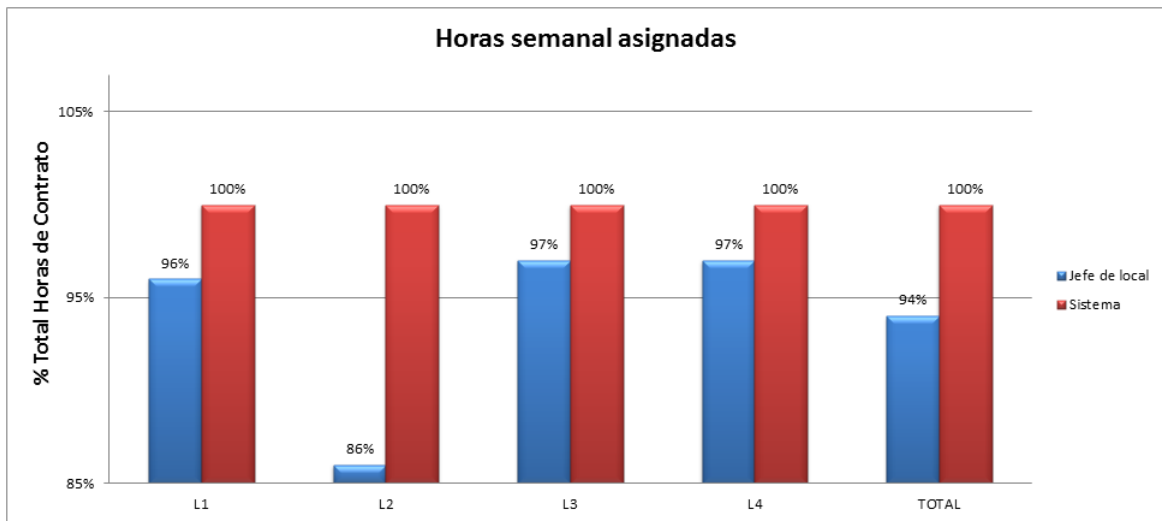


Figura 7.1: Cantidad de horas semanal asignadas de sistema versus jefe de local.

Debido a que las curvas de demanda de los locales son distintas, se simuló la asignación hecha por el jefe de local con una realizada por el modelo para una semana. La asignación manual y distribución de horas se muestran en gráficos 7.2 y 7.3.

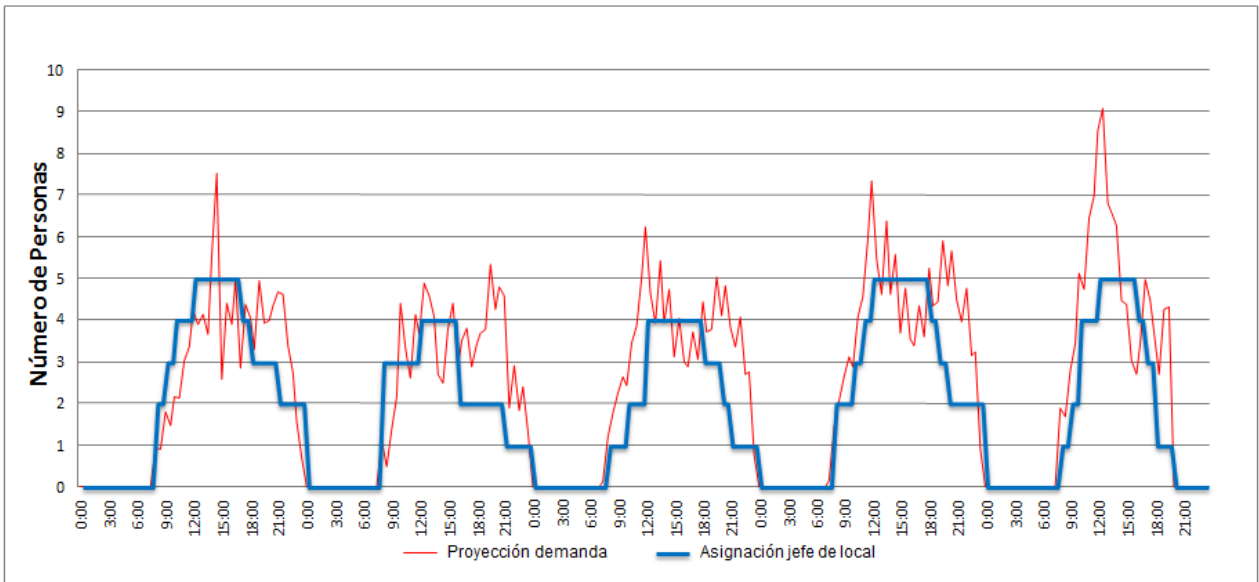


Figura 7.2: Asignación de horas de jefe de local en comparación a la proyección de demanda.

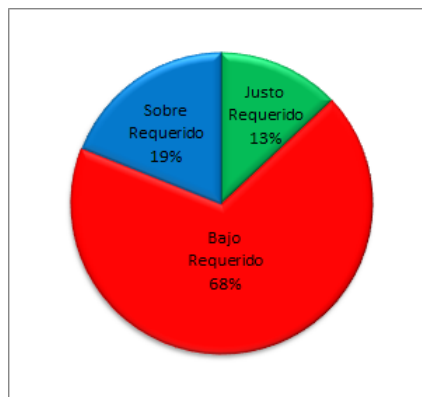


Figura 7.3: Porcentaje de distribución de asignación de horas.

Figura 7.4 muestra como la herramienta asignaría las horas más eficientemente en comparación a la asignación elaborada por el jefe de local. Esto permite alojar los recursos en los periodos más necesitados, el cual a la vez permite tener mejores tiempos de servicios, colas más cortas, y potencialmente aumento de ventas. Esto también es posible a que existe una mayor variedad de turnos que empiezan en distintas horas del día, lo cual permite tener mayor flexibilidad a la hora de asignar, y además mayor ajuste a la curva de demanda.

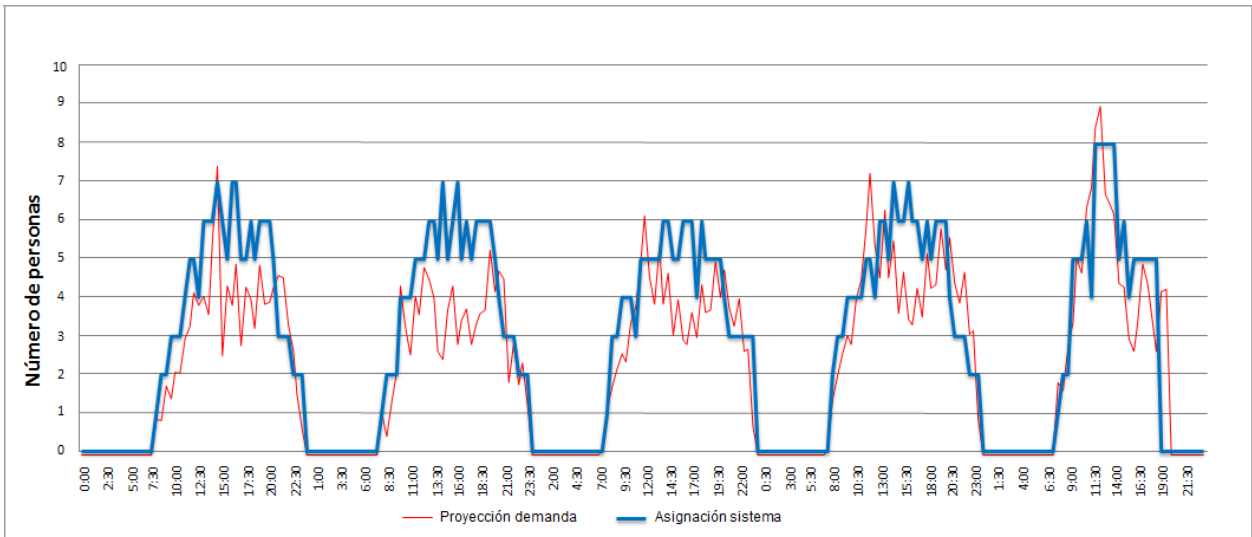


Figura 7.4: Asignación de horas del sistema en comparación a la proyección de demanda.

En figura 7.5 se muestra cómo la distribución de horas son mejor alojadas con la herramienta, donde las horas que se ajustan a la demanda pasan de un 13 % a un 38 %, se baja la subdotación de un 68 % a 18 %. Sin embargo, la sobredotación aumentó de 19 % a 44 %. Esto último se debe a que se hace un uso completo de las horas de contrato, que antiguamente no eran utilizadas por el jefe de local, ya que con esto evitaba traslapes del personal. Por otro lado, el modelo prefiere asignar personal por sobre lo requerido en vez de quedar subdotado y perder venta. Para hacer la comparación sensata, hipotéticamente se le restan al total de 45 horas usadas por en la simulación un 6 % de ellas para obtener 42 horas. Estas horas se supone que se asignan en el peor caso, es decir en periodos donde no se cubre la demanda (subdotación). Para esta comparación se aprecia que tanto la subdotación como las horas ajustadas siguen siendo mejores que las realizadas por el jefe de local, no obstante, la sobredotación aumenta.

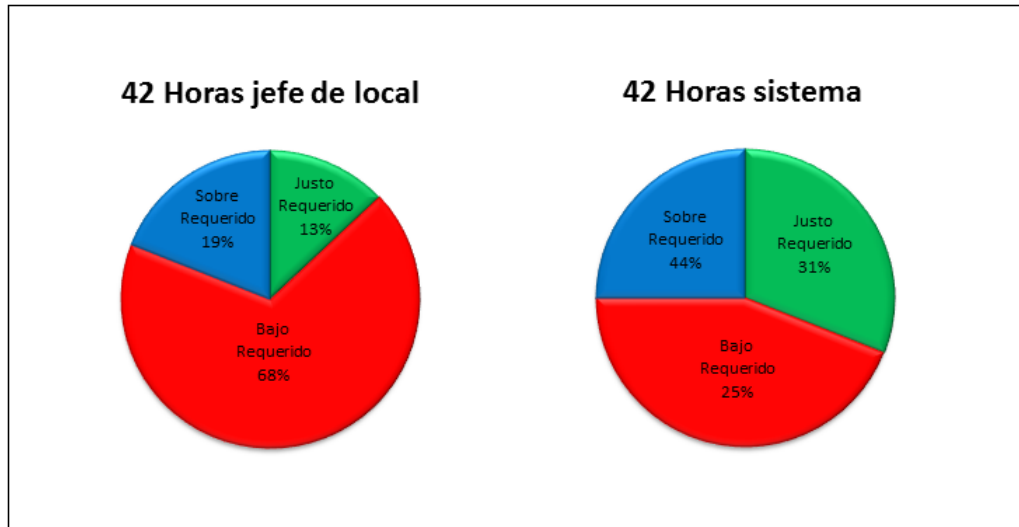


Figura 7.5: Porcentaje distribución de asignación de horas (42) de sistema versus jefe de local.

Un indicador importante a analizar es la productividad (en este caso no real sino proyectada) de los vendedores. Esto es la asignación de personas dividido la cantidad de tickets proyectados de venta. Este indicador muestra que la cantidad de tickets promedios vendidos proyectados por cada media hora, aumenta 7% usando 45 horas de contrato, y se incrementa 12% usando 42 horas. Esto último se debe a que a menor uso de horas pero mejor distribuidas, la productividad aumenta ya que el personal esta más exigido. ver figura 7.6.

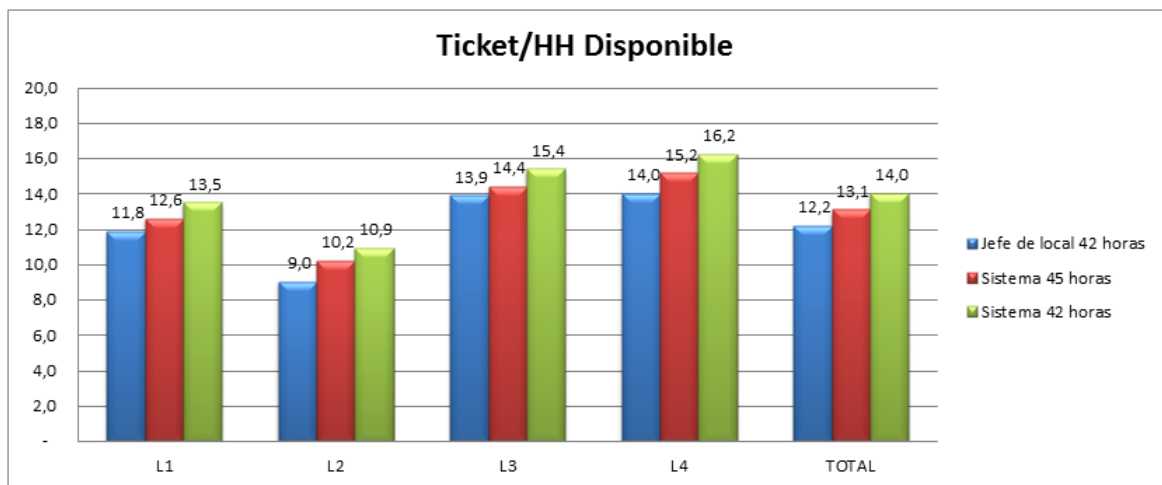


Figura 7.6: Comparación de productividades de turnos elaborados por jefe de local y sistema.

La cantidad de tickets vendidos no solo depende de una mejor asignación, pues existen otros factores que influyen en la venta de un producto, como son los tiempos de atención, disponibilidad del producto, puntos de venta (POS), entre otros.

7.1.3. Análisis de ventas, comisiones, horas extras, y costos de personal en primeros locales pilotos

Para un periodo de 5 meses, desde abril hasta agosto de 2012, se hizo seguimiento de indicadores importantes para medir el impacto de la herramienta. En cuadros 7.1 y 7.2, WF (Workforce) representa los locales en funcionamiento piloto con el sistema, entorno de local se refiere a los locales que se encuentran en la zona del local que no están en piloto, y no WF son el resto de los locales de la compañía.

Cuadro 7.1: Comisiones promedio para vendedores en comparación a año anterior.

Mes	WF (%)	Entorno local (%)	No WF (%)
Abril	106,6	101,5	102,5
Mayo	114,9	105,1	107,11
Junio	105,8	110,7	106,2
Julio	100,3	104,1	104,3
Agosto	92,5	95,9	93,6
Promedio	104,0	103,5	102,7

Cuadro 7.2: Ventas de locales WF con respecto a año anterior.

Mes	WF (%)	Entorno (%)	No WF (%)
Abril	103,2	104,7	101,2
Mayo	103,7	103,7	102,4
Junio	111,4	111,0	109,1
Julio	106,3	103,0	102,2
Agosto	104,9	104,7	101,3
Promedio	105,9	105,4	103,2

Como se aprecia en cuadro 7.1 las comisiones en locales WF aumentan entre 1%-2%, lo cual es un incremento marginal. Sin embargo, mayor al 0,5% de aumento en ventas mostrado en cuadro 7.2. Esto se debe a que las comisiones no necesariamente son proporcionales a las ventas pues dependen de metas y tramos por las cuales se rigen. También hay vendedores que no están sujetos a comisiones, por lo cual el mayor aumento en ventas es capturado por el personal que está sujeto a comisiones.

Cuadro 7.3: Horas extra utilizadas mensualmente por cada local.

Mes	WF (analista)		Entorno		No WF	
	Promedio Locales		Promedio Locales		Promedio Locales	
Abril	11,5	24	16,8	41	19,8	295
Mayo	11,5	24	17,0	41	17,4	295
Junio	5,9	23	15,8	41	20,9	296
Julio	23,2	23	24,0	41	24,1	296
Agosto	17,1	23	23,3	41	25,9	296
Promedio HHEE	13,8		19,4		21,6	

No obstante que en el sistema no hay creados turnos con horas extras, la base de turnos regulares creadas ha permitido que los analistas hagan uso de menos horas extras en comparación a lo que programaban los jefes de locales, ver cuadro 7.3. Esto significa que la asignación de turnos regulares de horas de contrato entregadas por el sistema hace uso de las horas completas de contrato, las cuales no eran utilizadas en su totalidad, y en conjunto con una mejor asignación han permitido el menor uso de sobre horas. Un local fue sacado temporalmente del piloto debido a que en ese local estaba el dirigente del sindicato, ante lo cual se prefirió evitar eventuales conflictos, incluso de otra índole, en el periodo de piloto.

Cuadro 7.4: Diferencia de personal actual y dotación óptima para locales piloto.

	Disminuyen	igual	Aumentan
Locales	5	17	1
Personal	5	155	1

Con la ayuda del modelo de dotación óptima fue posible estimar el mix y personal correcto que debe manejar cada local del piloto. En otras palabras, determinar cuáles locales están con personal justo, subdotados, y sobredotados. Se estimaron ahorros en costos de 2,5%. En la práctica no se desvinculó ese 2,5%, sino mas bien se hizo un reasignación del personal desde locales sobredotados a subdotados, ver cuadro 7.4. Las expectativas de ahorro en costos de personal eran mayores. Sin embargo, en base a otras decisiones operacionales, estos redujeron costos de personal, desligando personal como política de costos que ellos manejaban como empresa del mismo rubro en otros países.

7.2. Rotación

El modelo desarrollado para cumplir con la rotación de personal y cubrir demanda al mismo tiempo, es un modelo que se rige de acuerdo a una proporción de personal que trabaja de mañana,

intermedio y tarde.

En general, la rotación se cumple a cabalidad para todo el personal sujeto a rotar. Sólo en casos que hay muchas restricciones de feriados y cambios de horarios para cierto tipos de contratos en algunas semanas no es posible rotarlas por completo, dado que estas circunstancias permiten poca flexibilidad.

En la figura 7.7 se muestra en la aplicación el resultado de la rotación del personal para el mes completo de un local específico.

Empleado (nombre, rut, contrato)	Semana 19/11/2012	Semana 26/11/2012	Semana 03/12/2012	Semana 10/12/2012	Semana 17/12/2012	Semana 24/12/2012
SANDRA ELIZABETH GAJARDO BUSTAMANTE, 6972641, C002	Sin rotación	Intermedia	Tarde	Intermedia	Mañana	Tarde
VICTOR BASUALTO ALAMOS, 7316299, C002	Sin rotación	Tarde	Intermedia	Mañana	Intermedia	Tarde
RODRIGO ALEXIS PEREZ VELASQUEZ, 11230290, C002	Mañana	Tarde	Intermedia	Tarde	Mañana	Intermedia
MIGUEL ANGEL MANOSALVA ROBLES, 13383025, C002	Intermedia	Mañana	Tarde	Intermedia	Tarde	Mañana
YASNA ALEJANDRA CASTRO MALDONADO, 13436499, C002	Tarde	Intermedia	Tarde	Mañana	Tarde	Intermedia
LORENA PRISCILA ANGULO VASQUEZ, 13523017, C002	I	T	Mañana	Intermedia	Tarde	Intermedia
MARCIA LEONOR OSSES HERRERA, 13584423, C002	Tarde	Intermedia	Mañana	Tarde	Intermedia	Tarde
IVONNE BRIGETTE HUAMAN ALCA, 14709660, C002	Sin rotación	Tarde	Mañana	Intermedia	Tarde	Intermedia

Empleado (nombre, rut, contrato)	Semana 19/11/2012	Semana 26/11/2012	Semana 03/12/2012	Semana 10/12/2012	Semana 17/12/2012	Semana 24/12/2012

Leyenda							
	Mañana		Intermedia		Tarde		Sin rotación

Figura 7.7: Ejemplo de rotación de personal para mes completo.

Como se aprecia en la figura 7.7, cada semana hay asignado 2 personas de mañana, 3 de intermedio, y 3 de tarde. Esto es resultado de la parametrización para este caso, el cual está seteado en 25 % mañana, 35 % intermedio y 40 % tarde. Debido a que las personas a asignar son enteras, la mejor proporción como solución es 25 % (2 personas) de mañana, 37,5 % (3 personas) de intermedio y 37,5 % (3 personas) de tarde. La primera semana es la última del mes anterior, la cual se toma como información para generar las semanas del mes a programar, y así la rotación se mantenga de un mes a otro. Algunas personas no rotan debido a que son turnos que han sido editados, los cuales son alterados a través del mes debido a contingencias, y ante lo cual en algunos casos se cambian algunos días.

7.3. Resultados computacionales 2 metodologías

Para el análisis de la metodología de generación de columnas, se analizaron 14 locales representativos, esto es locales con y sin categorías, de apertura lunes a viernes, lunes a sábado, lunes a domingo, de mall y peatonal. Se compara la solución entregada por la heurística implementada con metodología de generación de columnas.

La generación de columnas hace uso de los costos reducidos para crear turnos iniciales buenos con una heurística greedy que usa los costos reducidos, para luego seguir generando turnos con el subproblema. Debido a que el problema maestro es pequeño, se resuelve a optimalidad. El subproblema en algunos casos toma mayor tiempo en converger, por ende se setea en 5% de error (Gap) con un máximo de 1000 segundos.

Para la implementación de generación de columnas sólo se generó columnas en el nodo raíz (no se hizo un Branch & Price completo), ya que los tiempos computacionales para algunas instancias son muy grandes para convergencia, y después de 2 horas las soluciones no cambiaban significativamente. Mayor eficiencia del modelo para esas instancias difíciles requieren el desarrollo de otro tipo de técnicas para acelerar convergencia hacia las cotas, las cuales requieren de un mayor tiempo y trabajo. Cotas al problema son obtenidas usando con los costos reducidos con la fórmula 5.38 enunciada en capítulo 4.

La heurística del sistema demora en promedio 25-30 minutos en resolver un local, cuando se corren más de 4 locales, la tasa de resolución es de 4 locales en 30 minutos debido a que existen 4 colas que pueden resolver 4 instancias en paralelo.

Se obtuvieron los siguientes resultados para la generación de columnas (GC):

Cuadro 7.5: Comparación de solución heurística (límite tiempo 30 minutos) y GC (límite de tiempo 2 horas).

Local	Cota(\$)	Sol GC(\$)	Sol Heurística(\$)	Gap Sol GC(%)	Gap Sol Heurística(%)
F014	6.442.183	6.243.550	6.236.338	3,1	3,2
F121	11.763.640	11.419.646	7.556.077	2,9	35,8
F122	8.767.897	8.567.738	8.562.436	2,3	2,3
F190	14.465.015	14.303.683	14.274.625	1,1	1,3
F202	26.072.252	25.970.473	25.779.473	0,3	1,1
F267	36.769.678	30.408.435	35.945.045	17,3	2,2
F482	10.394.618	9.422.607	9.017.068	9,4	13,3
F324	1.100.758	1.095.374	1.059.768	0,5	3,7
F288	6.758.799	6.571.139	6.536.071	2,9	3,3
F111	17.562.557	17.213.069	17.283.398	2,0	1,6
F297	20.240.009	19.738.433	20.083.643	2,5	0,8
F020	9.867.772	9.640.833	9.629.459	2,3	2,4
F223	7.075.663	4.892.796	4.889.213	30,9	30,9
F546	9.577.545	8.312.792	8.068.657	13,2	15,8
Promedio	-	-	-	6,5	8,4

En tabla 7.5 en promedio la generación de columnas (GC) resulta tener un gap mejor por 2% que la heurística implementada, lo cual es razonable pues tiene la posibilidad de crear turnos. Aún así, la heurística resulta ser una buena solución ocupando un pool de turnos ad-hoc. Debido a que sólo se implementó una generación de columnas en el nodo raíz, y no el Branch & Price completo, el gap no es cercano a cero en promedio. Sin embargo, en teoría se podría estar más cerca del óptimo de lo pensado, pues si se terminara el Branch & Price completo, las soluciones puede que no cambien significativamente, sino a lo más un 6,5% en promedio. La Heurística resultó ser mejor en 3 instancias que la metodología GC. Locales que no aperturan de lunes a domingo tienden a ser más expeditos de resolver dado que no deben lidiar con las restricciones de domingo y de máximo de 6 días seguidos, por lo cual el problema es menos complejo tanto para la heurística como para la GC. Esto se explica principalmente a que este tipo de instancias tienen un horario más regular, para lo cual la heurística tiene más posibilidades de turnos del pool (se filtran menos turnos debido a horario de local). En términos generales, es más difícil encontrar soluciones buenas debido a falta de turnos, subdotación del local, y porque no fue posible cumplir mínimo personal que tiene un costo alto (por eso un gap tal alto en algunas instancias). Para 4 instancias de la heurística y 3 instancias de la GC tienden a estar a un gap lejano de la solución óptima (mayor a 10%). Esto se debe a que existe un costo alto por cobertura (cuando hay algún periodo sin asignación de personal), en consecuencia cuando no se puede cumplir en totalidad las coberturas, el cálculo de las cotas se aleja mucho del valor de la solución.

En general la GC se comporta mejor debido a que tiene la flexibilidad de crear turnos, lo cual permite un mayor ajuste a distintos requerimientos, como lo es la cobertura de periodos. Por otro lado, la heurística al alimentarse de un pool de turnos predeterminados es menos flexible para satisfacer este tipo de restricciones blandas. Por esto mismo, se hizo una prueba de ejecutar las mismas instancias sin considerar este costo de cobertura para saber que tan sensible es la calidad de la solución a este parámetro.

Cuadro 7.6: Comparación de solución heurística y GC sin considerar costo de cobertura.

Local	Gap Sol GC(%)	Gap Sol Heurística(%)
F014	2,0	3,1
F121	1,7	1,8
F122	2,8	1,7
F190	1,1	1,2
F202	0,5	1,0
F267	4,3	2,9
F482	10,7	16,4
F324	0,5	3,8
F288	2,5	3,2
F111	2,0	1,6
F297	2,4	0,0
F020	1,5	1,8
F223	3,9	2,4
F546	6,1	3,0
Promedio	3,0	3,1

En cuadro 7.6 se aprecia que los gaps de las 2 metodologías son muy parecidos y muy buenos (menor a 5%). Esto sugiere, que si de alguna manera se asegura de antemano que la cobertura para todos los periodos se satisface (o no se satisface), como por ejemplo lo que se hace con la rotación del personal, esta restricción ya no sería parte del problema en esta etapa, y las soluciones entregadas por la heurística serían tan buenas como una metodología exacta de generación de columnas para estas instancias. Sin embargo, esta alternativa si bien disminuye los gaps, de alguna manera sesga el problema al no considerar esta variable. En la práctica, las descoberturas son arregladas manualmente por los analistas del sistema, alterando los turnos de manera tangencial para mantenerse lo más cercano a la rotación de turnos original. Cuando esto último no es posible se programan horas extras para cumplir el requerimiento.

7.4. Comportamiento de la generación de columnas

Dentro de la GC se inicializa con una generación de columna greedy (GCG) para partir con una solución inicial buena y acelerar convergencia. En cuadro 7.7 se muestra detalles del rendimiento de la GC completa. Como tiempo límite se setea 2 horas para la generación de columnas por local, y se itera hasta 30 veces por persona en la generación de columnas greedy pues después de ese número de iteraciones la solución no cambia.

Cuadro 7.7: Tiempos de solución de GCG, GCE y problema maestro.

Local	Tpo Prom GCG(s)	Tpo Prom GCE(s)	Tpo Prom Pmaestro(s)
F014	1,9	25,6	1,7
F121	2,2	25,2	1,8
F122	1,6	12,5	1,2
F190	2,0	13,5	1,5
F202	2,2	18,3	1,3
F267	1,5	20,1	1,0
F482	2,4	453,5	1,7
F324	1,6	11,8	1,4
F288	2,4	111,0	2,3
F111	1,6	10,8	1,4
F297	2,2	71,2	2,1
F020	1,9	16,5	1,6
F223	0,8	8,6	0,9
F546	1,9	19,1	1,4
Promedio	1,9	58,4	1,51

En algunas instancias, los subproblemas (GCE) toman demasiado tiempo en generar turnos, debido a que es un problema entero mixto que debe ser resuelto para un mes completo, y además existen locales con horario más extendido de lo normal, lo cual explica en parte que tomen un tiempo mayor de resolución. Aún así, ese tiempo de generación de un solo turno se escapa de lo que sería una solución buena en un tiempo razonable. Por otro lado, la heurística greedy es muy eficiente en tiempos de ejecución. El problema maestro tiene tiempos de ejecución bajos, pues solo escoge turnos que ya cumplen con todas las restricciones legales, y solo debe escoger aquellos que cumplan con los requerimientos de demanda y restricciones del local. Además, dado que el número de iteraciones para la generación de columnas fue limitada, la cantidad de variables por turnos ingresadas al subproblema no superó las 100 variables, lo cual también explica la rapidez del problema maestro.

Cuadro 7.8: Gap de solución de GCE y GC completa.

Local	GAP GCG(%)	GAP GCG+GCE(%)
F014	52,4	3,1
F121	21,9	2,9
F122	2,8	2,3
F190	1,2	1,1
F202	0,4	0,4
F482	14,4	9,4
F324	0,5	0,5
F288	22,2	2,8
F111	2,0	2,0
F297	54,0	2,5
F020	2,9	2,3
F223	138,4	30,9
F546	352,2	13,2
Promedio	51,0	6,5

El rendimiento de la generación de columnas greedy (GCG) por sí sola resulta no ser tan buena en promedio, sin embargo, en 40% de las instancias la solución es muy buena (menor a 3%), en donde la generación de columnas exacta (GCE) casi ni mejora la solución entregada por GCG. Comparativamente, GCG le resulta más difícil lidiar con la restricción de cobertura de personal que la GCE, y por esto, el gap es considerablemente más alto para esas instancias. A modo de prueba, se ejecutan las mismas instancias sin considerar este costo de cobertura para saber cuánto mejoran los gaps de GCG.

Cuadro 7.9: Gap de solución de GCE y GC completa, sin considerar costo de cobertura.

Local	GAP GCG(%)	GAP GCG+GCE(%)
F014	5,5	2,0
F121	3,3	1,7
F122	3,0	2,8
F190	1,4	1,1
F202	0,5	0,5
F267	7,6	4,3
F482	16,3	10,7
F324	0,5	0,5
F288	3,4	2,5
F111	2,0	2,0
F297	8,3	2,4
F020	3,8	1,5
F223	8,7	3,9
F546	6,1	6,1
Promedio	5,0	3,0

En cuadro 7.9 se muestra que las soluciones de GCG mejoran notoriamente sin considerar costo de cobertura, lo cual habla que GCG se comporta bien excluyendo restricciones blandas con costos altos, a pesar de que el problema se sesga. Esto sugiere que restricciones de este tipo deberían ser tratadas en etapas previas para determinar si es posible cumplirlas, y no en conjunto dentro del problema, ya que en caso contrario el problema se torna más difícil de resolver.

Capítulo 8

Conclusiones y problemas abiertos

El modelo heurístico implementado está funcionando en aproximadamente 100 locales. La mejor asignación de los empleados ha significado mejorar la disponibilidad de personas requeridas al momento de la venta. También permitió mejorar las ventas en 0,5 %, las horas extras disminuyeron 36 % (en gran parte debido al uso total de horas de contrato), las comisiones para los trabajadores aumentaron en 1 %, disminución en costo de personal de 2,5 %, y aumentos de productividades de los vendedores. La optimización del personal no slo permite mejorar KPI's, pues existen otras variables que influyen en la venta, como por ejemplo; promociones, apertura de otros locales adyacentes, POS disponibles para ventas, ausentismos de empleados, entre otros. Un sistema centralizado de turnos permite estandarizar procesos dentro de la compañía, como los son; permisos de vacaciones, licencias, ausentismos, contingencias, etc. También permite visualizar otros asuntos que antes no eran visualizados a nivel administrativo, como por ejemplo, que ciertas personas solo trabajaban en periodos cómodos para ellos, impidiendo así que todas las personas roten o tengan también periodos preferenciales de trabajo, y además que otros colaboradores se acomoden para tener un correcto funcionamiento del local. La rotación del personal evita que se produzcan derechos adquiridos, como así también una distribución más heterogénea del personal, permitiendo que todos trabajen tanto en periodos valles como puntas, asegurando que las comisiones no sean desiguales por vicios como los descritos.

Los locales más complicados de gestionar, a nivel técnico y práctico, resultan ser aquellos que aperturan de lunes a domingo, pues tienen que lidiar con más restricciones laborales, en contraste a los locales que abren de lunes a sábado que tienen menos restricciones, y por ende la gestión es menos compleja.

La flexibilidad que permite el sistema de poder reasignar turnos es de gran ayuda para con-

tigencias. En general cuando hay contingencias para la última semana del mes, sólo se modifica esa semana y no todo el mes completo. Controlar el completo cumplimiento de los turnos no es posible actualmente sistémicamente debido a que el sistema de control de asistencia no está aún integrado con la aplicación. Sin embargo, se lleva un control manual del cumplimiento de los turnos por parte de los analistas, el cual bordeaba promedio el 80% de cumplimiento para los primeros locales pilotos. El control de los turnos es muy importante, ya que es necesario que el personal cumpla con los horarios establecidos por el sistema de tal manera de lograr cumplir con las reglas de negocio de la compañía. Es importante saber por qué el cumplimiento no es cercano a 100% en algunos locales ya que es posible que algunas realidades específicas no son abordadas por el sistema, o bien falta configurar alguna opción que el sistema ya incluye. También existe la posibilidad de que ciertos locales no respetan los turnos porque simplemente se resisten a una forma de trabajar donde algunos ya no tienen horarios preferenciales, sin embargo, donde otros ya no son perjudicados.

La funcionalidad de poder encontrar la dotación óptima de locales, ha permitido distribuir personal entre locales, desde aquellos que están holgados hacia aquellos que necesitan personal, y por ende el ahorro de no contratar más personas en locales subdotados. Por otro lado, ayuda a tomar decisiones de presupuestos anuales con respecto a los costos de personal que debe manejar cada local.

Las cotas encontradas con la metodología de generación de columnas (GC) resultan ser cercanas a la heurística implementada, con una diferencia de 2%, demostrando que la solución heurística se encuentra a un 8% del óptimo en promedio. Sin embargo, para los casos donde se requiere mayor flexibilidad por parte de los turnos, la metodología GC resulta ser superior, lo cual se explica básicamente a que la heurística implementada usa un pool de turnos ya creados, y la metodología GC los crea de acuerdo a necesidades particulares. La única desventaja de la metodología GC son los altos tiempos computacionales de ciertas instancias correspondientes al subproblema (GCE) que genera turnos, no obstante, la heurística greedy (GCG) resulta ser muy eficiente y muy buena en solución en comparación a los turnos generados por la GCE. Para una implementación en donde no sea necesario tener turnos predefinidos, el uso de la metodología GC sería muy útil haciendo uso mayoritario de la GCG, y solo ocupar la GCE en casos donde se requiere mayor flexibilidad del turno. También sería necesario complementar la metodología GC dentro de lo que ya existe o en conjunto con otras heurísticas para poder cumplir las relajaciones hechas en comparación al problema real, como por ejemplo, que cumplan las horas de contrato semanales en su totalidad.

8.1. Trabajo futuro

Es importante seguir midiendo los indicadores de ventas, comisiones y productividades en el presente, donde ya hay aproximadamente 100 locales en funcionamiento, para así compararlos con los que se realizaron en los análisis de esta tesis, que fueron para los primeros locales pilotos. Existen locales que no respetan el cumplimiento de los turnos, ya que por un lado algunos locales que fueron agregados al sistema tenían derechos adquiridos y por otro, algunos colaboradores no querían cambiarse a un sistema rotativo de turnos, lo cual es una consecuencia de la cultura de como los jefes de locales administraban a su personal, dándole horarios privilegiados a algunos y perjudicando a otros al mismo tiempo.

Por otro lado, es necesario realizar mejoras de asegurar cobertura de mínimo de personal, pues existen periodos (mayoritariamente cierres y aperturas) donde no hay personal asignado debido a falta de tipos de turnos con configuraciones específicas. También está pendiente conectar el sistema de control de asistencia con la herramienta para que haya un mayor control del cumplimiento de turnos, y así poder controlar en tiempo real, sobre todo aquellos locales con bajo cumplimiento de turnos.

Entre las mejoras posibles sería considerar las preferencias de los vendedores dentro del mes completo. Es posible encontrar en complemento que hay colaboradores que prefieren trabajar más horas dentro de un día, para así tener más días libres de descanso, como también hay personas que prefieren trabajar turnos más cortos a expensas de trabajar más días. Esta variedad de preferencias permite alojar los recursos para las demandas del local, y a la vez que estas preferencias sean factibles de cumplir.

Como posible trabajo futuro se propone seguir desarrollando la generación de columnas hacia un Branch & Price, para realmente determinar si algunas instancias ya están en el óptimo y en cuales no. Para esto es necesario mejorar la heurística greedy para que se comporte mejor para restricciones blandas. También se podría buscar una diferente modelación del subproblema exacto que sea más eficiente en tiempo de resolución, como por ejemplo modelarlo como flujo o programación de restricciones (Constraint programming).

Sería interesante conocer cuales turnos deben ser los predefinidos a tener como pool, pues tienen que estar impreso en un libro ante eventuales fiscalizaciones de la inspección del trabajo. Para esto

se podría tomar una muestra de meses y locales representativos en lo que corresponde a las curvas de demanda y realidades. Para luego hacer simulaciones de cuales serían los turnos que más se generan y usan. También analizar si estos turnos varían mes a mes, o si se podría usar algún patrón de demanda anual, que sea representativo del año, entre otros.

Bibliografa

- [1] J. Bard and Had. Purnomo. A column generation-based approach to solve the preference scheduling problem for nurses with downgrading. *Elsevier, Socio-Economic Planning Sciences* 39:193–213, 2005.
- [2] J. Beliën. Exact and heuristic methodologies for scheduling in hospitals: problems, formulations and algorithms. *Springer, 4OR* 5:157–160, 2007.
- [3] J. Beliën and E. Demeulemeester. Scheduling trainees at a hospital department using a branch-and-price approach. *Elsevier, European Journal of Operational Research*, Vol. 175:258–278, 2006.
- [4] J. Beliën and E. Demeulemeester. A branch-and-price approach for integrating nurse and surgery scheduling. *Elsevier, European Journal of Operational Research*, Vol. 189:652–668, 2008.
- [5] D. Bertsimas. *Introduction to Linear Optimization*. Dynamic Ideas, 1997.
- [6] D. Bertsimas and R. Weismantel. *Optimization over Integers*. Dynamic Ideas, 2005.
- [7] R. Borndö, R. Grö Tschel, and A. Lö Bel. Scheduling duties by adaptive column generation. *ZIB-Report*, 01-02, January 2001.
- [8] P. Bruckera, E. Burkeb, T. Curtoisb, R. Qub, and G. Berghec. A shift sequence based approach for nurse scheduling and a new benchmark dataset. *Journal of Heuristics*, doi: 10.1007/s10732-008-9099-6, 2009.
- [9] M. Brusco and L. Jacobs. Personnel tour scheduling when starting-time restrictions are present. *Inform, Management Science*, Vol. 44, No. 4:534–547, Apr., 1998.
- [10] M. Brusco, L. Jacobs, R. Bongiorno, D. Lyons, and B. Tang. Improving personnel scheduling at airline stations. *Inform, Operations Research*, Vol. 43, No. 5:741–751, Sep. - Oct., 1995.

- [11] G. Dantzig and P. Wolfe. The decomposition principle for linear programs. *Operations Research*, Vol. 8:101–111, 1960.
- [12] S. Demasse, G. Pesant, and LM. Rousseau. Constraint programming based column generation for employee timetabling. *Centre for Research on Transportation (CRT), Université de Montréal*.
- [13] G. Desaulniers, J. Desrosiers, and M. Solomon. *Column Generation*. Springer Science + Business Media, 2005.
- [14] F. Easton and D. Rossin. Sufficient working subsets for the tour scheduling problem. *Informatics, Management Science*, Vol. 37, No. 11:1441–1451, Nov., 1991.
- [15] M. Gamache, F. Soumis, G. Marquis, and J. Desrosiers. A column generation approach for large-scale aircrew rostering problems. *Informatics, Operations Research*, Vol. 47, No. 2:247–263, Mar. - Apr., 1999.
- [16] P. Gilmore and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem. *Operations Research*, Vol. 9:849–859, 1961.
- [17] P. Gilmore and R. Gomory. A linear programming approach to the cutting stock problem: Part ii. *Operations Research*, Vol. 11:863–888, 1963.
- [18] E. Hans. Resource loading by branch-and-price techniques. *Twente University Press*, 2001.
- [19] D. Huisman. A column generation approach for the rail crew re-scheduling problem. *Elsevier, European Journal of Operational Research*, Vol. 180:163–173, 2007.
- [20] C. Medard and N. Sawhney. Airline crew scheduling from planning to operations. *European Journal of Operational Research*, Vol. 183:1013–1027, 2007.
- [21] A. Mehrotra, K. Murphy, and M. Trick. Optimal shift scheduling: A branch-and-price approach. *Naval Research Logistics*, Vol. 47:185–200, 2000.
- [22] K. Papoutsis, C. Valouxis, and E. HousosSource. A column generation approach for the timetabling problem of greek high schools. *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 54, No. 3:230–238, Mar., 2003.
- [23] A. Schrijver. *Theory of Linear and Integer Programming*. Wiley, 1998.

- [24] L. Trilling, A. Guinet, and D. Le Magny. Nurse scheduling using linear programming and constraint programming.
- [25] P. Vance, C. Barnhart, E. Johnson, and G. Nemhauser. Airline crew scheduling: A new formulation and decomposition algorithm. *Informs, Operations Research*, Vol. 45, No. 2:188–200, Mar. - Apr., 1997.
- [26] L. Wolsey. *Integer Programming*. Wiley-Interscience, 1998.
- [27] L. Wolsey and G. Nemhauser. *Integer and Combinatorial Optimization*. Wiley-Interscience, 1999.
- [28] Z. Zapaj. Optimización y planificación de turnos de la fuerza de ventas en empresas la polar s.a. *Departamento ingeniería industrial, Universidad de Chile*, 2007, Marzo.

Anexos

A . Modelo Reponedores

Este modelo recibe como entrada toda la información de contratos, turnos y horarios de reposición. Entrega como salida la mejor asignación de turnos que cumpla con todas las leyes laborales cumpliendo al mismo tiempo con el horario de reposición.

A .1. Conjuntos

- C, CC : Tipos de contratos.
- I, II : Universo de individuos.
- S : Semanas del mes.
- D, DD : Días del mes.
- H : Media horas de un día.
- T : Diferentes tipos de turnos.
- CI : Individuos pertenecientes a cada contrato $CI \subseteq C \times I$
- CSI : Individuo-contrato que rige mínimo de domingos de descansos al mes, $CSI \subseteq C \times I$.
- CEI : Individuo-contrato que pueden tener horas extras, $CEI \subseteq C \times I$
- CID : Días potenciales de pago de día libre por concepto de feriados $CID \subseteq C \times I \times D$.
- HOR : Horario de local, $HOR \subseteq D \times H$.
- SD : Días pertenecientes a cada semana, $SD \subseteq S \times D$.
- FER : Feriados dentro del mes, $FER \subseteq D$.
- $CIST$: Turnos factibles semanales para cada Individuo-Contrato. $CIST \subseteq C \times I \times S \times T$.

- *CIST*: Configuración por día de cada turno semanal factible para cada Individuo-Contrato. $CISDT \subseteq C \times I \times S \times D \times T$.
- *CISDHT*: Configuración dentro de cada día de cada turno semanal factible para cada Individuo-Contrato. $CISDT \subseteq C \times I \times S \times D \times H \times T$.
- *HP*: Horarios preferentes donde reponedor debe ser asignado. $HP \subseteq D \times H$.

A .2. Parámetros

- *M*: Máximo de 6 días consecutivos que se puede trabajar.
- *MHD*: Máximo de medias horas de trabajo ordinarias en un día, sin considerar horas extras.
- *MHE*: Máximo de medias horas extras por día.
- *MD*: Máximo de domingos consecutivos trabajados al mes.
- *MS*: Máximo de domingos a asignar en el mes
- *CHEc*: Costo de cada media hora extra por contrato.
- *DSCc*: Número de medias horas de descuento a horas semanales debido a feriado, ausentismo o pago de día libre.
- *HRS_{c,i,s}*: Horas semanales de contrato a cumplir semanalmente.
- Delta de dirac para saber días feriados

$$\delta_{d \in FER} = \begin{cases} 1 & d \in FER \\ 0 & d \notin FER \end{cases}$$

A .3. Variables

- $X_{c,i,s,t}$: 1 si individuo i perteneciente a contrato c trabaja semana s con turno t , 0 sino.
- $Z_{c,d,i}$: 1 si individuo i perteneciente a contrato c trabaja día d , 0 sino.
- $Y_{c,i,d}$: 1 si individuo i perteneciente a contrato c no trabaja feriado d , 0 sino.
- $i_{d,h}$: Número de personas requeridas no satisfecha en día d en periodo h .
- $s_{d,h}$: Número de personas sobre el requerido en día d en periodo h .

- $HES_{c,i,s}$: Número de medias horas extras trabajadas de individuo i perteneciente a contrato c para la semana s .
- $HED_{c,i,d}$: Número de medias horas extras trabajadas de individuo i de contrato c para día d .
- $P1_{c,i,d}$: 1 si individuo i de contrato c es compensado con día libre d por haber trabajado un feriado al mes, 0 sino.
- $P2_{c,i,d}$: 1 si individuo i de contrato c es compensado con pago en dinero por haber trabajado un día feriado, 0 sino.
- $B_{d,h}$: Cuenta los traslapes del personal.

A .4. Función Objetivo

Se maximiza la cobertura de horas de reposición minimizando los traslapes

$$\text{Max} \quad \sum_{(d,h) \in HP} B_{d,h} - \sum_{(d,h) \in HOR} T_{d,h} \quad (8.1)$$

A .5. Restricciones

Restricciones de reponedores

- ★ Saber si las horas preferentes son cubiertas

$$\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \geq B_{d,h} \quad \forall (d,h) \in HP \quad (8.2)$$

- ★ Saber que periodos hay traslapes

$$\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \geq 1 + T_{d,h} \quad \forall (d,h) \in HOR \quad (8.3)$$

Restricciones legales

- ★ No se puede asignar 2 domingos consecutivos

$$\sum_{\substack{dd \in D \\ d - (MD+1) < dd \leq d \\ dd > 0}} X_{c,i,dd} \leq MD \quad \forall (c,i) \in CSI, \forall d \in D \quad (8.4)$$

★ Mínimo 2 domingos libres al mes

$$\sum_{d \in D} (1 - Z_{c,i,d}) \geq MS \quad \forall (c,i) \in CSI \quad (8.5)$$

★ Máximo de días consecutivos trabajados

$$\sum_{\substack{dd \in D \\ d-(M+1) < dd \leq d \\ dd > 0}} Z_{c,dd,i} \leq M \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \quad (8.6)$$

★ Cumplir horas semanales de contrato, ajustado con feriados, días libres, ausentismos, y horas extras.

$$\begin{aligned} \sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] &= HRS_{c,i,s} + \sum_{(c,i) \in CEI} HES_{c,i,s} \\ &+ \sum_{(s,d) \in SD} HED_{c,i,d} + \sum_{(s,d) \in SD} [DSCTO_c \cdot (Z_{c,i,d} - P1_{c,i,d})] \\ &\forall (c,i) \in CI, \forall s \in S \end{aligned} \quad (8.7)$$

★ Máximo de horas regulares a trabajar en un día más horas extras

$$\sum_{(c,i,s,d,h,t) \in CISDHT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \leq MHD + HED_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D$$

★ Máximo horas extras totales semanales depende de días trabajados a la semana

$$HES_{c,i,s} + \sum_{(s,d) \in SD} HED_{c,i,d} \leq MHE \cdot \sum_{(s,d) \in SD} Z_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall s \in S \quad (8.8)$$

★ Día feriado trabajado debe ser compensado con algún día libre en el mes o con pago de dinero

$$\sum_{d \in FER} Z_{c,i,d} = \sum_{(c,i) \in CID} P1_{c,i,d} + \sum_{d \in FER} P2_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI \quad (8.9)$$

★ Si se paga feriado compensado con día libre, ese día no se trabaja

$$Z_{c,i,d} \leq 1 - P1_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \quad (8.10)$$

★ trabaja si es que turno ese día trabaja, y además para días feriados si se decide o no trabajar

$$Z_{c,i,d} \leq \sum_{(c,i,s,d,t) \in CISDT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \quad (8.11)$$

★ Se activa que trabaja solo si escoge un turno que trabaje ese día

$$\sum_{(c,i,s,d,t) \in CISDT} [X_{c,i,s,t} - \delta_{d \in FER} \cdot Y_{c,i,d}] \leq Z_{c,i,d} \quad \forall (c,i) \in CI, \forall d \in D \quad (8.12)$$

B . Algoritmo general Branch & Price

Algoritmo 2 B&P

```
1: Inicializar  $RMP$ 
2: Run  $RMP^{LP}$ 
3: Load  $CR$  cargar duales
4:  $Sol = Z_{RMP^{LP}}$ 
5:  $Solcambia = True$ 
6: while  $Solcambia$  do
7:   for  $i \in I$  do
8:     Run  $SubproblemaGreedy_i$ 
9:     if  $CR_i > 0$  then
10:      Entrar  $Patron_i$ 
11:     end if
12:     Run  $RMP^{LP}$ 
13:     Load  $CR_i$ 
14:   end for
15:   if  $Z_{RMP^{LP}} > Tol + Sol$  then
16:      $Solcambia = True$ 
17:   else
18:      $Solcambia = False$ 
19:   end if
20:    $Sol = Z_{RMP^{LP}}$ 
21: end while
22:  $Iter = 0$ 
23:  $Nodoact(1) = Si$  inicializar nodo raiz activo
24:  $Prioridad(1) = 1$ ;
25: while  $|Nodoact| > 0$  and  $Tpo \leq Tpomax$  and  $Gap < Gapmin$  do
26:    $Cur \leftarrow Node \in Nodoact, \max Prioridad_{Node}$ 
27:   for  $Cur$  do
28:     Load  $info_{cur}$ 
29:     while  $Totredcost > Tol$  and  $Iter \leq maxiter$  do
```

Algoritmo 2 B&P (continuación)

```
30:   Iter = Iter + 1
31:   for  $i \in I$  do
32:     Run Subproblemai
33:     if  $CR_i > 0$  then
34:       Entrar Patroni
35:     end if
36:     Run  $RMP^{LP}$ 
37:   end for
38:    $Totredcost = \sum_{i \in I} CR_i$ 
39:   if  $Iter > Maxiter$  then
40:     for  $i \in I$  do
41:       Run Subproblemai
42:        $CR_i = Z_{i_{Bestpossible}}^{LP}$ 
43:     end for
44:      $Totredcost = \sum_{i \in I} CR_i$ 
45:   end if
46: end while
47: end for
48: Run  $RMP^{MIP}$ 
49: if  $RMPFACTIBLE^{MIP}$  and  $Z_{RMP^{MIP}} > Incumbente$  then
50:    $Incumbente = Z_{RMP^{MIP}}$ 
51: end if
52:  $Globalbound = \max_{Nodo \in Maxnode} Upperbound_{Nodo}$ 
53:
54:  $Gap = \frac{Globalbound - Incumbent}{Globalbound}$ 
55:  $Prioridad_{cur} = \frac{Ponder_u Upperbound + Ponder_c Totredcost}{Globalbound}$ 
56: if isfactible and isfraccion and  $upperbound_{cur} > Incumbente$  and Novisitado then
57:   Run Branching
58:   Cargar Newnodos
59:    $Upperbound_{Newnodos} = Upperbound_{cur}$ 
60:    $Nodoact_{Newnodos} = Si$ 
61:    $Prioridad_{Newnodos} = Prioridad_{cur}$ 
62: end if
63: end while
```

C . Interfaces de la aplicación

C .1. Panel de reportes

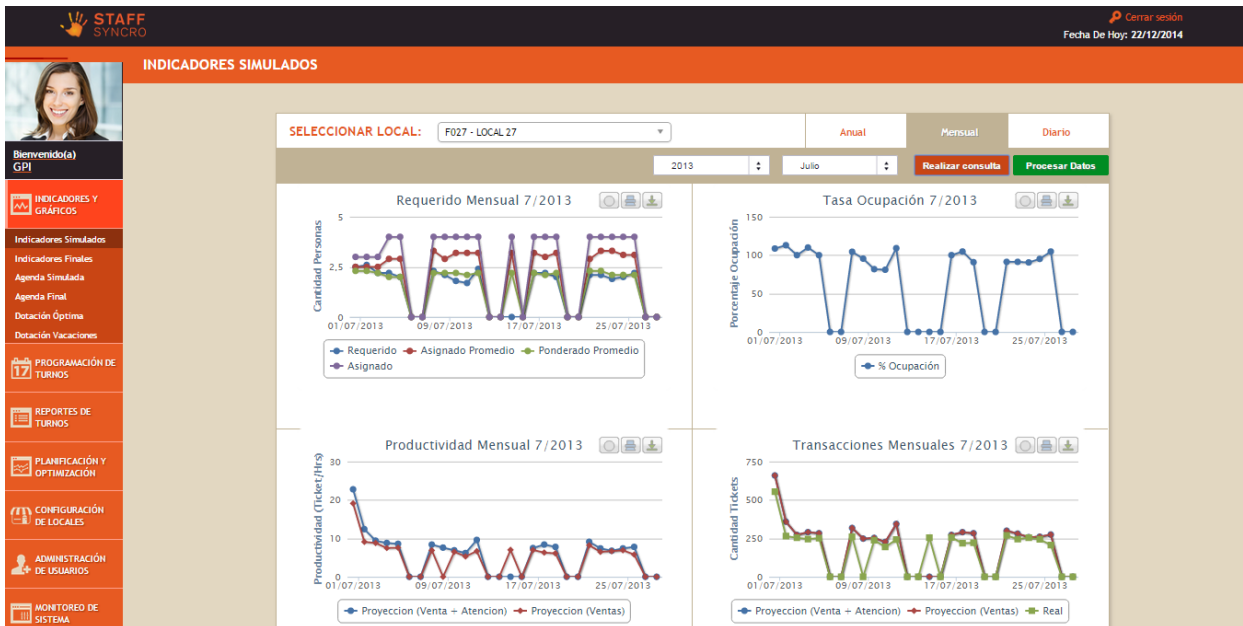


Figura 8.1: Panel de reportes de asignación, productividades, tasas de ocupación y transacciones.

C .2. Panel de asignación de turnos

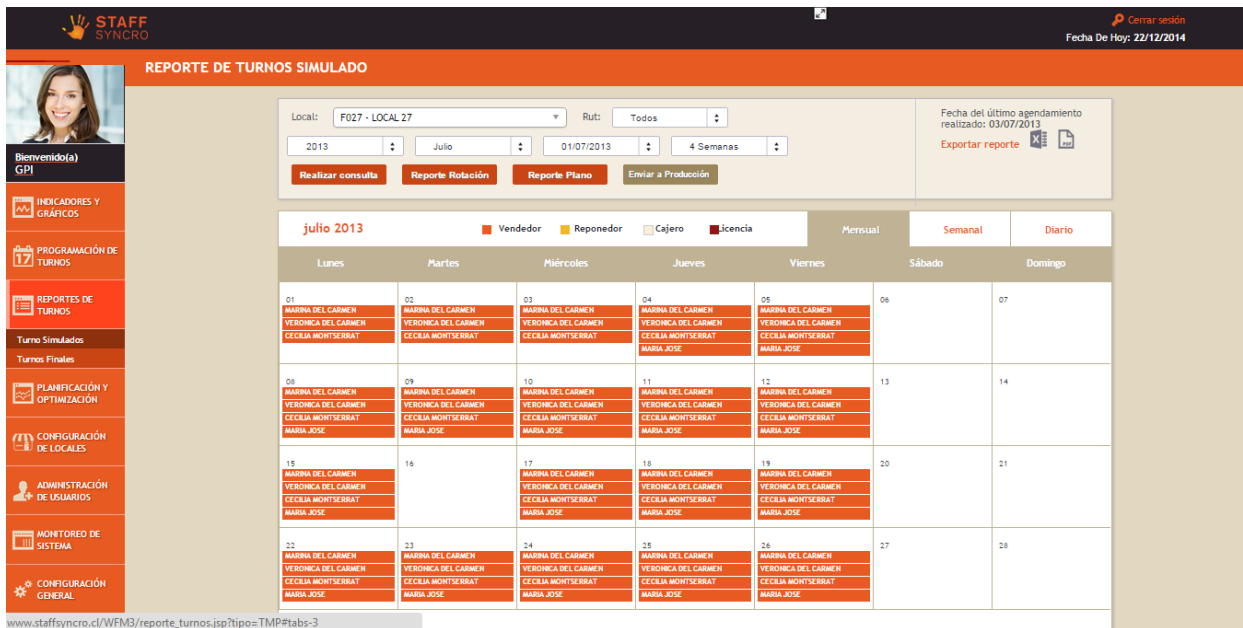


Figura 8.2: Panel de asignación de turnos mensual para todo el personal.

C .3. Edición turnos

Edición Turnos Simulado

Local: F027 - LOCAL 27 Rut: Todos
 Año: 2013 Mes: Julio Fecha desde: 01/07/2013 Fecha hasta: 1 Semana

Lista de Turnos SIMULADO

Semana 1: 01/07/2013 al 07/07/2013		Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Total	Horas	Horas
		Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Hora	Horas	Extra	Orig.
MARINA DEL CARMEN HENRIQUEZ 8320290 V. MULTIFUNCION C002	Ingreso	08:30	08:30	08:30	08:30	08:30					
	Colación	13:30-13:59	13:30-13:59	13:30-13:59	12:30-12:59	12:30-12:59					
	Salida	18:59	18:59	18:59	16:29	16:29					
	Total	10:00	10:00	10:00	7:30	7:30			45,0	0,0	45,0
Acciones		Editar Eliminar	Editar Eliminar	Editar Eliminar	Editar Eliminar	Editar Eliminar	Crear	Crear			
VERONICA DEL CARMEN VELOSO 9904798 AUXILIAR FIJO C002	Ingreso	10:30	10:30	10:30	10:30	10:30					
	Colación	14:30-14:59	14:30-14:59	14:30-14:59	14:30-14:59	14:30-14:59					
	Salida	19:59	19:59	19:59	19:59	19:59					
	Total	9:00	9:00	9:00	9:00	9:00			45,0	0,0	45,0
Acciones		Editar Eliminar	Editar Eliminar	Editar Eliminar	Editar Eliminar	Editar Eliminar	Crear	Crear			
		Ingreso	08:00	08:00	08:00	08:00					
		Colación	12:30-12:59	12:30-12:59	12:30-12:59	11:00-11:29	11:00-11:29				

Figura 8.3: Edición de turnos para cambiar turnos manualmente.

C .4. Parámetros por local

PARÁMETROS GENERALES

Seleccionar local: F027 - LOCAL 27 **Agregar Local** **Guardar** **Exportar Excel**

Datos generales del local
 Código: F027 Nombre local: LOCAL 27 Abreviación: 027 Ubicación Zona: HUEFANOS

Horario Local (Atiende 24 Horas)

	Apertura	Cierre		Apertura	Cierre
Lunes	08:00	19:59	Sábado	No abre	No abre
Martes	08:00	19:59	Domingo	No abre	No abre
Miércoles	08:00	19:59	Forjado	No abre	No abre
Jueves	08:00	19:59			
Viernes	08:00	19:59			

Eliminar este local

Parametrizaciones

Opciones rotatividad personal

Opciones avanzadas

Factor disponibilidad de venta

Factor de Fuga

Editar horario local **Lineas de ingreso** **Factores de venta diarias** **Factores de abasto**
Horario preferido respondedores **Cargar transacciones** **Factores control** **Parametros Asistencia**

Figura 8.4: Se parametrizan input específicos para cada local.

C .5. Reporte dotación optima

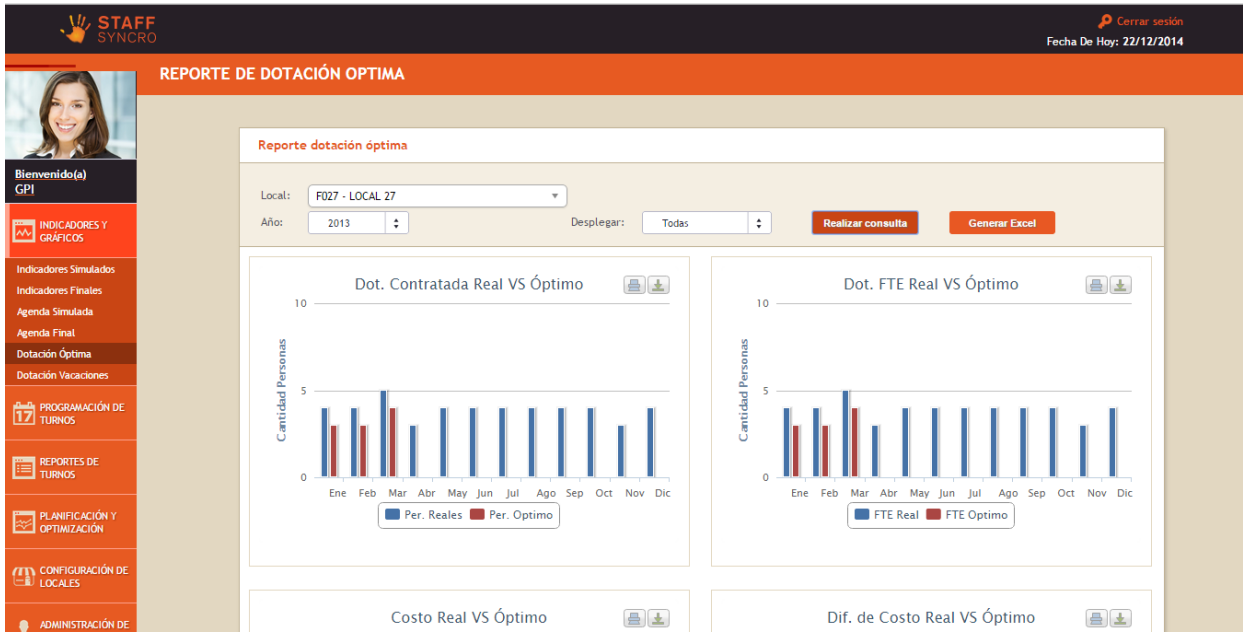


Figura 8.5: Reporte de dotación optima y actual.

D . Cota usando costos reducidos para una función maximizada

Dada la fórmula demostrada en [18] para una función minimizada, tenemos:

$$Z_{RLP}^{MIN} + \sum_{i \in I} \min_{j \in J_i} CR_j^i \leq Z_{LP}^{MIN} \quad (8.13)$$

La función usada en este trabajo es una maximización, por ende para pasar a minimización se cambia signo de la función objetivo tanto para el problema restringido como el original:

$$Z_{RLP}^{MAX} = \text{Max } Z_{RLP} = \text{Min } -Z_{RLP} = -\text{Min } Z_{RLP} = -Z_{RLP}^{MIN} \quad (8.14)$$

$$Z_{LP}^{MAX} = \text{Max } Z_{LP} = \text{Min } -Z_{LP} = -\text{Min } Z_{LP} = -Z_{LP}^{MIN} \quad (8.15)$$

Reemplazando 8.14 y 8.15 en 8.13 se tiene:

$$\longrightarrow -Z_{RLP}^{MAX} + \sum_{i \in I} \min_{j \in J_i} CR_j^i \leq -Z_{LP}^{MAX} \quad (8.16)$$

$$\longrightarrow Z_{LP}^{MAX} \leq Z_{RLP}^{MAX} - \sum_{i \in I} \min_{j \in J_i} CR_j^i \quad (8.17)$$

$$\longrightarrow Z_{LP}^{MAX} \leq Z_{RLP}^{MAX} + \sum_{i \in I} \min_{j \in J_i} -CR_j^i \quad (8.18)$$

Finalmente se obtiene cota para maximización:

$$\longrightarrow Z_{LP}^{MAX} \leq Z_{RLP}^{MAX} + \sum_{i \in I} \max_{j \in J_i} CR_j^i \quad (8.19)$$