

**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN - CHILE  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

***OPTIMIZACIÓN PARA LA PROGRAMACIÓN DE  
SUPERVISORES DE PROGRAMAS DEPORTIVOS  
REGIONALES.***

por  
**Juan Carlos Oliveros Wedel**

Profesor Guía:  
**Dra. Lorena Pradenas Rojas**

**Concepción, Abril 2016**

Tesis presentada a la

**DIRECCIÓN DE POSTGRADO  
UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**



Para optar al grado de

**MAGISTER EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

# RESUMEN

## Optimización para la programación de supervisores de programas deportivos regionales.

Juan Carlos Oliveros Wedel

Abril 2015

**Profesor Guía:** Dra. Lorena Pradenas

**Programa:** Magíster en Ingeniería Industrial

El presente estudio desarrolla una propuesta a un problema real que presenta un servicio público del área deportiva y que consiste en determinar el número de supervisores deportivos que debe contratar, como también, asignar las respectivas zonas de trabajo de cada supervisor definiendo, rutas de manera equitativa y balanceada controlando así el correcto uso de los recursos públicos, como también de la ejecución técnico – metodológica de las actividades deportivas que ofrecen y que se ejecutan.

Se formuló un modelo de programación matemática con dos modelos enteros mixtos que funcionan de manera secuencial. El primero corresponde a un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos y el segundo, a un problema de ruteo de vehículos mono depósito, con ventanas de tiempo y periódico.

De los principales resultados son que el modelo propuesto presenta ventajas comparativas respecto a la situación real. Por una parte, permite aumentar la cantidad de supervisores actuales, distribuyendo, mejor la carga laboral y minimizando los costos presupuestarios anuales en un 11% y por otra parte, garantiza el 100% del cumplimiento de las supervisiones.

La herramienta propuesta le permite al servicio, un instrumento efectivo para mejorar la gestión y toma de decisiones y también optimizar los recursos.

**Palabras claves:** Supervisión, MIP

# ABSTRACT

## Optimización para la programación de supervisores de programas deportivos regionales.

Juan Carlos Oliveros Wedel

Abril 2015

**Thesis Supervisor:** Dra. Lorena Pradenas

**Program:** Master in Industrial Engineering

This study develops a proposal to a real problem that presents a public service of the sports area and is to determine the number of sports supervisors must contract also assign the respective areas of work of each supervisor defining routes equitably and balanced thus controlling the proper use of public resources, as well as the technical implementation - methodology of sports activities offered and running.

a mathematical programming model with two mixed integer models that work sequentially was formulated. The first corresponds to a vehicle routing problem with multiple deposits and second, to a routing problem with single tank vehicles with time windows and regular use.

Of the main results it is that the proposed model has comparative advantages over the real situation. On one hand, it can increase the amount of current supervisors, distributing, better workload and minimizing the annual budgetary costs by 11% and on the other hand, guarantees 100% compliance with supervisions.

The proposal tool allows the service, an effective tool to improve management and decision-making and optimize resources.

**Keywords:** Supervision, MIP

## INDICE

CAPITULO N° 1.- INTRODUCCIÓN .....	8
1.1 Hipótesis:.....	9
1.2 Objetivo general: .....	9
1.3 Objetivos específicos: .....	9
1.4 Alcances: .....	10
1.5 Limitaciones .....	10
CAPITULO N° 2.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
CAPITULO N°3.- ESTADO DEL ARTE .....	19
3.1 Supervisión.....	19
3.2 Casos reales aplicados a problemas de programación de trabajos .....	21
3.3 Problemas asociados al recorrido.....	23
CAPITULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
4.1 SUPUESTOS .....	28
4.1.1. Los Clientes.....	28
4.1.2. Los Depósitos .....	30
4.1.3. Los Vehículos:.....	33
4.1.4. Variantes al problema de ruteo de vehículos (VRP) .....	35
4.2. Formulación del Modelo .....	38
4.2.1. Descripción Modelo 1: MDVRP.....	39
4.2.2. Descripción del modelo 2: VRPTW.....	40
4.3 Modelo 1: MDVRP: Ruteo de supervisores con múltiples comunas a visitar, asignación primaria .....	42
4.3.1 Funciones Objetivos.....	43
4.3.2 Modelo 1: MDVRP: Descripción de la formulación Ruteo de vehículos con múltiples depósitos para asignación primaria .....	44
4.4 Modelo 2: VRPTW: Ruteo de vehículos monodepósito, periódico, con ventanas de tiempo .....	45
4.4.1 Función Objetivo.....	46
4.4.2 Modelo 2: VRPTW: Descripción de la formulación Ruteo de vehículos monodepósito, periódico, con ventanas de tiempo .....	48
4.5 Instancias y Propuestas de Solución.....	50
CAPITULO 5: ANALISIS Y RESULTADOS .....	51

5.1. Resultados Modelo 1 (MDVRP).....	51
5.1.2 Definición de depósitos.....	52
5.1.2 Asignación de comunas a cada depósito.....	54
5.2. Resultados Modelo 2 (VRPTW).....	55
5.2.1 Definición Cantidad de Supervisores.....	57
5.2.2 Definición de rutas para cada supervisor.....	60
5.3 Comparación modelo v/s situación real.....	71
CAPITULO 6: CONCLUSIONES.....	73
REFERENCIAS.....	75



## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura alianza Instituto Nacional de Deporte y Municipios para la Ejecución de Programas Deportivos .....	12
Figura 2: Variantes básicas del VRP y la relación entre ellas (Toth y Vigo, 2014).....	24
Figura 3: Descripción conceptual modelo matemático .....	38
Figura 4: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ y $k_5$ que dependen del depósito de la comuna de Contulmo de la provincia de Arauco.....	61
Figura 5: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ , $k_4$ y $k_5$ que dependen del depósito de la comuna de Los Álamos de la provincia de Arauco .....	62
Figura 6: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ , $k_2$ y $k_3$ que dependen del depósito de la comuna de Antuco de la provincia de Biobío.....	63
Figura 7: Ruta semanal de los supervisores $k_2$ y $k_3$ que dependen del depósito de la comuna de Mulchén de la provincia de Biobío .....	64
Figura 8: Ruta semanal de los supervisores $k_2$ y $k_5$ que dependen del depósito de la comuna de Nacimiento de la provincia de Biobío.....	65
Figura 9: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ , $k_2$ , $k_4$ y $k_5$ que dependen del depósito de la comuna de Concepción de la provincia de Concepción .....	66
Figura 10: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ , $k_1'$ , $k_2$ , $k_2'$ , $k_4$ y $k_4'$ que dependen del depósito de la comuna de San Pedro de la Paz de la provincia de Concepción .....	67
Figura 11: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ , $k_2$ , $k_3$ y $k_4'$ que dependen del depósito de la comuna de Ránquil de la provincia de Ñuble.....	68
Figura 12: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ , $k_2$ , $k_3$ y $k_4$ que dependen del depósito de la comuna de San Nicolás de la provincia de Ñuble.....	69
Figura 13: Ruta semanal de los supervisores $k_1$ , $k_2$ , $k_3$ y $k_4$ que dependen del depósito de la comuna de Yungay de la provincia de Ñuble.....	70

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Número de talleres y programas deportivos ejecutados en la región del Biobío por Programa año 2014 .....	13
Cuadro 2: Detalle de cantidad de programas deportivos ejecutados por categoría y comuna, región del Biobío año 2014 .....	14
Cuadro 3: Distribución de programas asignados por supervisor por provincia. ....	16
Cuadro 4: Distribución de programas asignados por supervisor por comuna.....	17
Cuadro 5: Modalidad de Pago Supervisores Deportivos, Región del Biobío .....	18
Cuadro 6: Cantidad de comunas por provincia .....	29
Cuadro 7: Descripción cantidad de programas deportivos por comuna.....	30
Cuadro 8: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Arauco .....	31
Cuadro 9: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Biobío .....	31
Cuadro 10: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Concepción .....	32
Cuadro 11: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Ñuble .....	32
Cuadro 12: Descripción tarifario transporte público provincia de Arauco .....	34
Cuadro 13: Descripción tarifario transporte público provincia de Biobío .....	34
Cuadro 14: Descripción tarifario transporte público provincia de Concepción .....	34
Cuadro 15: Descripción tarifario transporte público provincia de Ñuble .....	35
Cuadro 16: Ventanas de tiempo provincia de Arauco.....	36
Cuadro 17: Ventanas de tiempo provincia de Biobío.....	36
Cuadro 18: Ventanas de tiempo provincia de Concepción .....	36
Cuadro 19: Ventanas de tiempo provincia de Ñuble.....	37
Cuadro 20: Detalle de insumos para desarrollar modelo N°1 .....	51
Cuadro 21: Resultados generales de las instancias del modelo 1 (MDVRP).....	52
Cuadro 22: Resultados porcentual depósitos por provincia .....	52
Cuadro 23: Detalle depósitos por provincia .....	53
Cuadro 24: Comunas asignadas a los depósitos .....	54
Cuadro 25: Dimensiones de las matrices asociadas a cada depósito.....	55
Cuadro 26: Resultados instancias modelo 2 (VRPTW) .....	56
Cuadro 27: Cantidad de Supervisores a Contratar por Provincia.....	57
Cuadro 28: Resultados Cantidad de Supervisores a Contratar por depósito .....	58
Cuadro 29: Resumen cuadro comparativo Situación Real v/s Modelo propuesto .....	71
Cuadro 30: Detalle Cantidad de Supervisores, horas contratadas y costos destinados situación real71	
Cuadro 31: Detalle Cantidad de Supervisores, horas contratadas y costos destinados del modelo ..	72
Cuadro 32: Detalle Porcentaje de cumplimiento de las supervisiones ejecutadas en el año de la VIII región.....	72

## CAPITULO N° 1.- INTRODUCCIÓN

El siguiente trabajo fue inspirado en generar una propuesta a un problema real que presenta el Instituto Nacional de Deportes (IND) en el desarrollo de los programas deportivos que imparte en todas las comunas de la región. Esta institución pública en conjunto con el Ministerio del Deportes, es la responsable de contribuir a desarrollar una cultura deportiva en el país, incentivando la práctica permanente y sistemática del deporte y la actividad física en todos los sectores de la población. Una de las iniciativas orientadas al desarrollo deportivo son, los programas deportivos, que consisten en actividades categorizadas en una amplia oferta de actividades deportivas, desde el deporte para todos y todas (actividades recreativas), escuelas formativas deportivas, como programas orientados a potenciar los sistemas de competencia de cada disciplina. Para esto, se contratan recursos humanos como también realiza la adquisición de la indumentaria necesaria para desarrollar adecuadamente las actividades deportivas. Cuando se pone en ejecución las actividades, se contratan supervisores deportivos como mecanismo de inspección para controlar el correcto uso de los recursos fiscales como también de la ejecución técnico – metodológica de las actividades deportivas, que se ejecutan y que ofrece el estado. Para mejorar la toma de decisiones y optimizar los recursos fiscales nace la motivación en desarrollar esta tesis, pues es indispensable buscar una propuesta que permita determinar el número de supervisores deportivos que contrata el servicio y a su vez determinar las respectivas asignaciones de cada supervisor en la región, como también, establecer sus rutas de trabajos, balanceando de manera equitativa la carga laboral de cada funcionario, abordando mediante modelos provenientes de la Investigación de Operaciones una propuesta efectiva orientada a transformarse en una herramienta de gestión sólida y disponible para este servicio público.

Para lo anterior y en base a las características propias del problema y de acuerdo con la revisión del estado del arte respectivo, se propone ajustar el estudio a un problema de ruteo de vehículos (VRP de sus siglas en Ingles) y considerando además lo señalado por Toth y Vigo (2014), sobre las variantes básicas que presenta el VRP y la relación entre ellas. También, se utilizan como base la propuesta de López Franco (2012) donde plantea un modelo multiobjetivo para la minimización del costo total de un plan de ruteo, y el balanceo de carga medido como la minimización de la diferencia, entre las cargas máximas y mínimas de cada vehículo por depósito para VRP. Además se considera lo planteado por Francis Smilowitz (2006) para analizar, atenuantes del VRP y así incorporar instancias para supervisar en horarios determinados considerando, restricciones de ventanas de tiempo.

Por lo anterior, el problema tratado, se resolvió a través de un modelo de programación matemática constituido por dos modelos enteros mixto que funcionan de manera secuencial, con el objeto de reducir el uso de los recursos y obtener soluciones en tiempos computacionales razonables.

El primer modelo es basado en un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos (MDVRP de sus siglas en Inglés) y es usado para asignar los lugares o comunas de la región donde se debe contratar los supervisores y con estos resultados, trabajar en el segundo modelos, considerando el problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (VRPTW de sus siglas en Inglés) para determinar la cantidad de supervisores a contratar y a su vez obtener la programación semanal y de forma equilibrada en términos de carga laboral.

### **1.1 Hipótesis:**

La hipótesis que se plantea en este estudio es que es posible determinar el menor número de supervisores deportivos de una organización pública regional con sus correspondientes rutas de trabajo mediante, la formulación de modelos matemáticos provenientes de la Investigación de Operaciones.

### **1.2 Objetivo general:**

Optimizar el número de supervisores deportivos, con sus respectivas asignaciones y rutas de trabajo, balanceando la carga laboral.

### **1.3 Objetivos específicos:**

- a) Programar el menor número de supervisores deportivos para cubrir todas las actividades en un año.
- b) Diseñar las rutas a cubrir por cada supervisor, para cumplir con la meta institucional.

#### **1.4 Alcances:**

- El presente estudio explorará el rubro deportivo perteneciente a la administración pública, particularmente para la región del Biobío, administrada por cuatro provincias y cincuenta y cuatro comunas, la segunda región del país con la mayor cantidad de comunas.
- La investigación aborda únicamente el análisis de los programas deportivos que imparte el estado a través del Instituto Nacional de Deportes, considerando que esta institución administra otras vías de apoyo al deporte al país, como lo es la postulación a proyectos deportivos y obras de infraestructura.

#### **1.5 Limitaciones**

- Los datos que se trabajan en esta tesis son reales y estos pueden sufrir modificaciones durante el transcurso del año.
- El periodo de análisis de datos corresponde a un año, particularmente al año 2014.
- No se consideran datos de otras regiones.

En la presente tesis, se organiza como se indica a continuación:

- En el capítulo 2, se describe el problema que motiva este estudio, detallando como la institución: organiza, distribuye y ejecuta actividades deportivas que ofrece el estado para generar hábitos y cultura en deporte y vida sana en la población y cuál es la función del supervisor y como estos funcionarios se distribuyen y se les asignan los programas deportivos.
- En el capítulo 3, se realiza un estado de arte y se presentan, varias aplicaciones que tienen relación directa y transversal al problema de optimización, para la programación de supervisores, revisando aspectos relacionados con: la supervisión, casos reales aplicados a problemas de programación y a problemas asociados al recorrido.
- En el capítulo 4, se presentan los modelos de programación matemática tanto del primer, modelo (MDVRP) como del segundo (VRPTW) describiendo: supuestos, parámetros, variables, datos reales de un periodo, métodos de resolución y programas computacionales para resolverlo.

- En el capítulo 5, se presentan los modelos y el análisis de los modelos propuestos, en el capítulo anterior y se realiza una comparación de los resultados del modelo obtenido, con los valores reales y se analizan, las ventajas comparativas que presenta el modelo propuesto.
- En el capítulo 6, se exponen las conclusiones obtenidas del presente estudio y se sugieren nuevas líneas de investigación a este problema de manera que pueda ser adaptado a otros servicios públicos y/o otras actividades.



## CAPITULO N° 2.- DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Instituto Nacional de Deporte de Chile (IND), es una institución pública cuya misión se encuentra orientada a desarrollar la cultura deportiva del país a través de la ejecución de programas deportivos a los ciudadanos y también apoya a las organizaciones deportivas.

Los programas deportivos, como lo describe la Figura N°1, son actividades de carácter recreativo para el desarrollo del deporte en todas las comunas del país, a través de la ejecución de talleres y eventos deportivos, que son financiados por el Instituto Nacional de Deporte. Lo anterior, se establece mediante la generación de alianzas estratégicas entre la entidad interesada y el Instituto Nacional de Deporte, donde este compromete recursos para la adquisición de implementación deportiva y recurso humano calificado para la realización de las actividades y por otra parte, el la entidad, que facilita el espacio y los recintos públicos y/o privados para el desarrollo de los distintos talleres o programas deportivos, como también realiza las gestiones necesarias para convocar los beneficiarios que participarán en estas actividades. En general, en la mayoría de los casos las entidades son los municipios de la región.

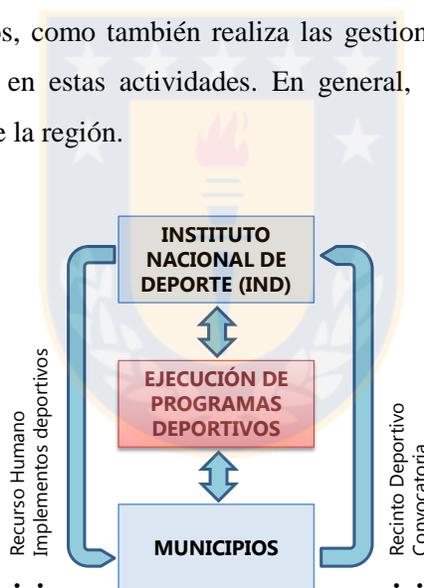


Figura 1: Estructura alianza Instituto Nacional de Deporte y Municipios para la Ejecución de Programas Deportivos

Fuente: Instituto Nacional de Deporte, Región del Biobío Chile

Desde el nivel central, el Ministerio de Deporte, se definen políticamente, las orientaciones deportivas nacionales y por ende, la cantidad de programas y números de talleres a ejecutar por región, que dependiendo las administraciones y/o presupuesto asignado, puede variar esta cantidad de un año a otro. Esta información es distribuida a las direcciones regionales del IND, quienes se contactan con los municipios para ofrecer los programas deportivos y realizan invitación formal mediante de un oficio conductor.

Las comunas, en función a sus necesidades, postulan indicando la cantidad deseada de programas. Una vez definida la respuesta de las comunas interesadas, en ejecutar programas deportivos, el departamento de actividad física del IND de cada dirección regional, realiza una reunión para definir la asignación de los programas con sus respectivos talleres en la región. Esta asignación es realizada en base a una serie de criterios tales como; la cantidad de población de la municipalidad; cantidad de beneficiarios; grado de arraigo e identificación de los programas; capacidad de infraestructura; condiciones geográficas adecuadas; apoyo de autoridades deportivas; experiencia de años anteriores de la comuna; intereses políticos, entre otras variables.

En el año 2014, se ejecutaron 493 programas y talleres deportivos, en toda la región del Biobío, tal como se describe en los cuadros 1 y 2 que se presentan a continuación:

Programa	Total
Adulto Mayor	32
Escuelas Deportivas	196
Escuelas de Fútbol	110
Mujer y Deporte	86
Niños y Jóvenes	58
Parques Públicos	2
Recintos Nuestros	9
<b>Total general</b>	<b>493</b>

Cuadro 1: Número de talleres y programas deportivos ejecutados en la región del Biobío por Programa año 2014

Fuente: Base de Datos Departamento de Actividad Física, IND VIII Región, Chile.

Provincia	Comuna	Adulto Mayor	Esc. Deportivas	Esc. Fútbol	Mujer y Deporte	Niños y Jóvenes	Parques Públicos	Recintos Nuestros	Total general
ARAUCO	Arauco	0	3	2	1	0	0	0	6
	Cañete	1	8	3	1	2	0	0	15
	Contulmo	1	6	2	1	1	0	0	11
	Curanilahue	1	4	1	2	1	0	1	10
	Lebu	1	2	1	2	2	0	0	8
	Los Álamos	1	4	1	1	1	0	0	8
	Tirúa	1	4	3	3	1	0	0	12
BIOBIO	Alto Biobío	0	2	1	1	0	0	0	4
	Antuco	0	1	2	1	1	0	0	5
	Cabrero	1	4	2	2	1	0	0	10
	Laja	0	6	1	1	2	0	0	10
	Los Ángeles	1	13	1	3	2	0	5	25
	Mulchén	1	3	2	1	1	0	1	9
	Nacimiento	0	3	1	2	1	0	0	7
	Negrete	0	1	2	1	1	0	0	5
	Quilaco	0	1	1	1	0	0	0	3
	Quilleco	0	1	0	1	0	0	0	2
	San Rosendo	0	1	0	1	0	0	0	2
	Santa Bárbara	1	2	2	1	1	0	0	7
	Tucapel	1	3	2	2	0	0	0	8
	Yumbel	0	1	2	1	1	0	0	5
CONCEPCION	Chiguayante	1	2	7	2	2	0	0	14
	Concepción	1	11	7	4	2	1	0	26
	Coronel	2	10	2	4	2	1	0	21
	Florida	0	3	2	1	2	0	0	8
	Hualpén	1	5	3	3	0	0	0	12
	Hualqui	1	3	2	1	1	0	0	8
	Lota	2	6	1	2	1	0	2	14
	Penco	1	3	2	2	2	0	0	10
	San Pedro de la paz	1	11	7	2	2	0	0	23
	Santa Juana	0	3	2	2	2	0	0	9
	Talcahuano	1	4	4	6	2	0	0	17
	Tomé	1	3	2	3	1	0	0	10
	NUBLE	Bulnes	0	4	1	1	1	0	0
Chillán		2	13	4	3	3	0	0	25
Chillán Viejo		0	2	2	1	1	0	0	6
Cobquecura		1	1	2	1	1	0	0	6
Coilemu		1	1	1	2	2	0	0	7
Coihueco		1	4	1	2	1	0	0	9
El Carmen		0	1	2	1	0	0	0	4
Ninhue		0	3	2	1	0	0	0	6
Ñiquén		0	2	2	0	1	0	0	5
Pemuco		1	3	2	1	2	0	0	9
Pinto		0	2	2	1	1	0	0	6
Portezuelo		0	1	1	1	0	0	0	3
Quillón		1	6	2	1	1	0	0	11
Quirihue		1	2	2	1	1	0	0	7
Ránquil		0	2	1	2	0	0	0	5
San Carlos		1	2	2	2	1	0	0	8
San Fabián		0	1	2	1	0	0	0	4
San Ignacio		0	4	2	1	0	0	0	7
San Nicolás		0	2	1	0	2	0	0	5
Trehuaco		0	1	2	0	1	0	0	4
Yungay	0	2	1	1	1	0	0	5	
<b>Total general</b>		<b>32</b>	<b>196</b>	<b>110</b>	<b>86</b>	<b>58</b>	<b>2</b>	<b>9</b>	<b>493</b>

Cuadro 2: Detalle de cantidad de programas deportivos ejecutados por categoría y comuna, región del Biobío año 2014

Fuente: Base de Datos Departamento de Actividad Física, IND VIII Región, Chile.

De acuerdo a lo anteriormente descrito en los cuadros, cada taller debe tener un profesor o monitor calificado quien debe realizar las actividades deportivas. Para el año 2014, se contrataron 325 profesionales para realizar los 493 talleres.

Como el Instituto Nacional de Deporte financia el recurso humano para la ejecución de estas actividades deportivas, requiere un mecanismo de inspección que permita controlar el correcto funcionamiento técnico metodológico de las actividades, como también estudiar la cobertura o cantidad de beneficiarios que participan en ellas.

Para verificar que el personal contratado distribuido, por la región se encuentren efectivamente ejecutándose las actividades, el Instituto Nacional de Deporte, contrata supervisores deportivos, profesionales del área de actividad física, cuyas funciones se encuentran orientadas a supervisar eficientemente todas las áreas relativas a los programas deportivos, velando por la implementación y ejecución de éstos.

Por lo anterior, entre otros, el supervisor debe tener la disponibilidad necesaria para viajar a distintas comunas de la región, en horarios en que se ejecuten los programas.

Las principales funciones que desarrollan los supervisores deportivos son:

- Coordinarse con otros organismos (contrapartes técnicas), para la supervisión de los programas.
- Apoyar instancias de difusión dispuestos para la ejecución de los programas.
- Supervisar el desarrollo de los programas, llevando su control en terreno, según orientaciones técnicas.
- Participar en reuniones, con encargados de los programas y contrapartes, cuando corresponda.
- Apoyar, la entrega de los informes del recurso humano de los programas.
- Completar bases de datos, para el informe mensual de supervisión elaboradas para tales efectos.
- Mantener base de datos actualizados, conformes los cambios que se detecten en las supervisiones.
- Elaborar informes mensuales, de supervisión de los programas.
- Realizar cualquier otra gestión, que pueda ser demandada para el apoyo de la ejecución de los programas.

El año 2014, se contrataron **arbitrariamente 23** supervisores deportivos, según se describe en los cuadros 3 y 4:

SUPERVISOR	ARAUCO	BIOBÍO	CONCEPCION	ÑUBLE	TOTAL
Supervisor 7	0	25	0	14	39
Supervisor 3	0	0	0	35	35
Supervisor 8	0	35	0	0	35
Supervisor 4	0	0	0	32	32
Supervisor 5	0	0	0	32	32
Supervisor 9	0	12	20	0	32
Supervisor 1	30	0	0	0	30
Supervisor 2	26	0	0	0	26
Supervisor 10	0	10	14	0	24
Supervisor 11	0	0	18	6	24
Supervisor 13	0	0	24	0	24
Supervisor 22	0	0	21	0	21
Supervisor 12	0	2	18	0	20
Supervisor 6	0	0	10	7	17
Supervisor 20	0	2	13	0	15
Supervisor 21	0	5	7	1	13
Supervisor 19	2	0	10	0	12
Supervisor 14	2	0	6	3	11
Supervisor 15	6	0	5	0	11
Supervisor 16	2	5	0	3	10
Supervisor 17	0	3	6	1	10
Supervisor 18	0	3	0	7	10
Supervisor 23	2	0	0	8	10
<b>Total</b>	<b>70</b>	<b>102</b>	<b>172</b>	<b>149</b>	<b>493</b>

Cuadro 3: Distribución de programas asignados por supervisor por provincia.  
Fuente: Base de Datos Departamento de Actividad Física, IND VIII Región, Chile.

PROVINCIA	COMUNA	Sup. 1	Sup. 2	Sup. 3	Sup. 4	Sup. 5	Sup. 6	Sup. 7	Sup. 8	Sup. 9	Sup. 10	Sup. 11	Sup. 12	Sup. 13	Sup. 14	Sup. 15	Sup. 16	Sup. 17	Sup. 18	Sup. 19	Sup. 20	Sup. 21	Sup. 22	Sup. 23	
ARAUCO	ARAUCO		X																						
	CANETE	X														X									X
	CONTULMO	X																							
	CURANILAHUE			X											X		X				X				
	LEBU			X																					
	LOS ALAMOS			X																					
	TIRUA	X																							
BIO BIO	ALTO BIOBIO							X																	
	ANTUCO								X																
	CABRERO									X								X				X			
	LAJA						X																		
	LOS ANGELES							X					X				X		X				X		
	MULCHEN								X																
	NACIMIENTO									X															
	NEGRETE									X															
	QUILACO									X															
	QUILLECO									X															
	SAN ROSENDO							X																	
	SANT A BARBARA								X																
	TUCAPEL							X																	
YUMBEL										X															
CONCEPCION	CHIGUAYANTE													X											X
	CONCEPCION					X										X		X			X	X			
	CORONEL								X												X				
	FLORIDA									X															
	HUALPEN										X												X		
	HUALQUI											X			X										
	LOTA												X			X									
	PENCO											X													
	SAN PEDRO DE LA PAZ											X				X									X
	SANT A JUANA								X																
	TALCAHUANO									X														X	
TOME													X												
ÑUBLE	BULNES						X																		
	CHILLAN					X									X		X		X				X		X
	CHILLAN VIEJO					X																			
	COBQUECURA			X																					
	COELEMU			X																					
	COIHUECO				X													X							
	EL CARMEN		X																						
	NINHUE		X																						
	ÑIQUEN		X																						
	PEMUCO							X																	
	PINTO					X																			
	PORTEZUELO			X																					
	QUILLÓN											X								X					
	QUIRHUE			X																					
	RANQUIL			X																					
	SAN CARLOS		X																						
	SAN FABIAN					X																			
	SAN IGNACIO		X																						
	SAN NICOLAS		X																						
	TREHUACO			X																					
YUNGAY							X																		

Cuadro 4: Distribución de programas asignados por supervisor por comuna.  
Fuente: Base de Datos Departamento de Actividad Física, IND VIII Región, Chile.

La contratación de los supervisores, se encuentra definida según la geolocalización de las zonas donde se ejecutan los programas deportivos, de manera de facilitar al supervisor, la fiscalización de la actividad. A modo de ejemplo, si se debe supervisar programas en la comuna de Los Ángeles, se priorizará al profesional con domicilio en la Provincia de Biobío.

El sistema de pago de los supervisores deportivos, es mediante contrato a honorarios, sujeto al pago de jornadas laborales. Particularmente, existen tres tipos de jornadas al mismo precio por hora, según lo descrito en el cuadro 5.

Jornada	Cant. de Hr por semana	Cant. de Supervisores	\$ por Hr	Costo Mensual	Costo anual Servicio
Completa	44	18	4.500	14.256.000	171.072.000
Tres cuarto	33	4	4.500	2.376.000	28.512.000
Media	22	1	4.500	396.000	4.752.000
<b>TOTAL</b>	<b>946</b>	<b>23</b>	<b>4.500</b>	<b>17.028.000</b>	<b>204.336.000</b>

Cuadro 5: Modalidad de Pago Supervisores Deportivos, Región del Biobío  
Fuente: Departamento de Administración y Finanzas, IND VIII Región, Chile

Existen ciertas consideraciones especiales, propias de la ejecución de los programas, que deben ser abordadas en el problema, que adicionales a las descritas anteriormente. Estas consideraciones son las siguientes:

- Cada supervisor deportivo costea, su propio traslado y colación.
- Las actividades de cada programa, pueden realizarse en distintos horarios y días.
- Los programas que se supervisan, muchas veces coinciden los días y los horarios, por lo tanto deben definir qué programa o producto visitar.
- Cada supervisor tiene que supervisar, todos sus programas por lo menos 1 vez en el mes. Lo anterior, se encuentra definido como meta para cada supervisor deportivo e indicador institucional.

La institución, para determinar la cantidad de supervisores a contratar, como asignar la carga de trabajo para cada uno, es una decisión tomada empíricamente, ajustando sus requerimientos en función a las necesidades en base a satisfacer el control de los programas a realizarse en las diferentes comunas de la región. Por lo anterior, en el caso de la asignación arbitraria de supervisores deportivos, no se sabe con certeza si esta solución es la correcta. Además, existe incertidumbre entre supervisores, dado que existe la sensación que la distribución de las cargas de trabajo no es homogénea y si la distancia de trayecto que deben realizar los supervisores es equidistante a cada supervisor. Por lo anterior, se pretende desarrollar un estudio que permita resolver estas interrogantes, alcanzando una carga homogénea, en tanto a la carga de las supervisiones, como en su distancia de visitas a cada programa deportivo y a su vez realizarse, esta gestión al mínimo costo para el servicio.

## CAPITULO N°3.- ESTADO DEL ARTE

Los problemas de planificación en Investigación de Operaciones son muy estudiados y usados en múltiples casos prácticos y reales, en diversas áreas permitiendo, optimizar y distribuir correctamente cargas de trabajo y recursos en las organizaciones, convirtiéndose en una herramienta de gestión en la toma de decisiones, en empresas y le permiten mejorar la logística y la planificación, generando con ello ahorros significativos a las organizaciones.

A continuación, se presenta una serie de aplicaciones revisada en la literatura que tiene relación directa y transversal al problema de optimización, para la programación de supervisores que es tratado en el presente estudio. En este capítulo se revisarán aspectos relacionados con la supervisión, casos reales aplicados a problemas de programación y a problemas asociados al recorrido.

### 3.1 Supervisión

En Hadi Moazen (2012), se establece que las funciones de los supervisores han cambiado de técnica y se encuentran operativas a los conceptos subyacentes de la gestión, tales como la planificación y organización, así como el pensamiento estratégico. La contratación de supervisores competentes en las empresas de petróleo y gas puede promover la cantidad y calidad de los productos, así como, aumentar la posibilidad de que los buenos resultados en los objetivos estratégicos. Para evaluar la importancia de los roles de los supervisores en las industrias de petróleo y gas, en este estudio se ha empleado el método Delphi basado en las opiniones de los expertos para identificar las competencias esenciales. En este estudio, 15 competencias esenciales para los supervisores han sido identificadas, que contribuyen a un mejor desempeño de las misiones y los logros de las empresas en los objetivos estratégicos. Por lo anterior, el perfil necesario de los supervisores, en el sector de la industria del petróleo considera las siguientes competencias:

- Juicio y decisión de fabricación
- Trabajo en equipo
- Comunicación efectiva
- Capacitar y delegar
- Liderazgo
- Habilidades técnicas
- Creación de confianza
- Conciencia de sí mismo
- Gestión de conflictos
- Gestión del tiempo
- Manejo del estrés
- Gestión del cambio
- Innovación
- Planificación y organización trabajo
- Gestión del riesgo

En Ana Caras (2013), se presentan conceptos de ética y la supervisión y la importancia de cada uno de estos en la práctica del trabajo social, desarrollado en el Gobierno Rumano, estableciendo que la supervisión como un proceso educativo y de formación basado en la prestación de: apoyo, capacitación y monitoreo. En la legislación rumana, la supervisión se requirió por primera vez en 2004, cuando el Gobierno rumano instó, a implementar este proceso en las normas mínimas en materia de recursos humanos en el campo de la protección del niño y la familia.

El estudio establece que el origen de las prácticas de supervisión se encuentra, en el sistema de aprendizaje, que requiere que un principiante en una profesión en beneficio de la orientación y el control de un maestro. La supervisión como concepto social, fue introducido originalmente en la evaluación de los programas y las instituciones que la práctica se vinculan gradualmente hacia los recursos humanos en el proyecto (Kadushin, A., Harkness, D., 2002).

Etimológicamente, el término supervisión, es una combinación de dos palabras latinas (súper = "anteriores, en, sobre," y videre = "ver, mirar") y fue construido para denominar una actividad de supervisión para la organización del trabajo eficiente, especialmente trabajar con menos personas entrenada en un campo.

En los años 20, se establecieron funciones de supervisión, con el objetivo desde el punto de vista administrativo, para promover y mantener los estándares de calidad de trabajo, bajo la coordinación de los principios y las políticas administrativas, lo que garantiza un trabajo colectivo eficaz; en términos de las funciones educativas, la supervisión siguió el desarrollo educativo de cada trabajador, con el fin de cumplir su plena utilidad, la supervisión sirve para mantener relaciones laborales armoniosas y el fomento de un espíritu de equipo (Kadushin, A., Harkness, D., 2002).

La práctica ética de la supervisión está influyendo en la calidad de vida de los clientes en las que el supervisor es un distribuidor, de la justicia mediante la aplicación de un conjunto de principios. Supervisor de ética, como guardián de cumplimiento ético, considerará las políticas contra la discriminación en la práctica social.

### 3.2 Casos reales aplicados a problemas de programación de trabajos

En Anne-Laure Ladier (2013), se propone un modelo para apoyar la cadena de decisiones en la programación de horarios semanales a turnos por día para una empresa de logística, para enfrentar cargas de trabajo muy variables donde, el sistema tiene horario flexible y los empleados disponen de habilidades múltiples y a su vez considerando una serie de restricciones, tales como: legales acordadas por los sindicatos y también, las capacidades de los equipos de manipulación. Para modelar y resolver este tipo de problema de la vida real, elaboraron un modelo dividiendo, el problema en tres sub-problemas, dependiendo del tipo de decisiones a tomar. Primero, se modela la fuerza de trabajo, luego, se desarrolla la asignación de tareas para una semana y finalmente un tercer sub-problema para asignar los turnos por trabajador detallado para un día y todo de manera secuencial, es decir, la salida de un paso debe ser la entrada del siguiente. Cada paso, se modela como un programa lineal entero mixto.

Los modelos propuestos, se prueban con datos industriales, así como las instancias generadas, con un total de 30 diferentes conjuntos de datos de casos, industriales reales. De las observaciones realizadas en un contexto industrial, se muestra que el modelo propuesto, es una herramienta de gestión real de apoyar a los directivos, en sus decisiones operativas y con el método secuencial propuesto entrega resultados en 3 minutos en promedio, tiempo computacionalmente razonable. Este modelo es utilizado actualmente por la compañía logística que proporcionó los datos, mejorando la gestión y la toma de decisión de la empresa.

El estudio de D.E. Ighravwe (2014), formula un modelo real de una empresa de producción de detergentes en Nigeria, para resolver y determinar el dimensionamiento de la fuerza de trabajo de mantenimiento con el objetivo de mejorar la productividad. Este problema, se formula mediante programación entera no lineal a través de, un marco bi-objetivo que minimiza, por un lado el número de personas de mantenimiento y por otro, aumentar al máximo sus niveles de productividad. Las entradas del modelo de optimización incluyen: períodos mensuales y rutinas de mantenimiento; volumen de producción; tiempo de mantenimiento de contingencia; factor de utilización y factor de prioridad, entre otros. El modelo incluye además el factor de utilización, que capta la frecuencia con los técnicos de mantenimiento, que están ocupados en el trabajo en lo que respecta a las tareas asignadas, incluyendo imprevistos, y alta carga de trabajo de mantenimiento.

El modelo ha sido resuelto mediante un algoritmo de Branch and Bound con el software V11.0 LINDO. El impacto de la estructura de la fuerza de trabajo y los salarios de los trabajadores

en el desempeño del modelo, ha sido estudiado también, realizando así un análisis de sensibilidad para investigar los cambios de los datos de entrada y obtener la solución óptima. Los resultados de este estudio muestran, una reducción en el número de personal de mano de obra de mantenimiento en comparación al personal que utiliza la empresa. El modelo proporciona, una herramienta práctica y fácil de usar para los gerentes de mantenimiento y supervisores, así como una herramienta científica para determinar el tamaño óptimo de la fuerza de trabajo de mantenimiento, de una planta de fabricación.

En el estudio de Mohsen Bayati (2013), se plantea un modelo de optimización del número de enfermeras en el departamento de emergencia utilizando, la técnica de programación lineal. El objetivo del estudio es determinar el número óptimo de enfermeras del servicio de urgencias del Hospital de Shiraz Ali Asghar mediante, la formulación de un modelo matemático, resuelto con programación lineal a través de los registros de los pacientes derivados al servicio de urgencias del hospital en 2008. La metodología realizada, genera un muestreo mensual para todos los registros. La recopilación de datos requerida, se realizó a partir de estadísticas y también los registros de pacientes utilizando, los formularios de recogida de datos.

Se determina el ingreso promedio, de pacientes en un período de días equivalente en turnos de ocho horas, segmentado en tres horas, con ello, se logró clasificar el tipo de los servicios prestados, el tiempo promedio utilizado, por los servicios de enfermería, determinado el período de la oferta de servicios de enfermería. El número óptimo, de enfermeras necesarias en los diferentes períodos del hospital con el uso de técnica de programación lineal, mediante software *jerga 8*.

Como resultado, se obtuvo el número mínimo de enfermeras requeridas en el servicio de urgencias respecto de los servicios para satisfacer la demanda de pacientes, enfermeras por cada turno y cada día, respectivamente.

De acuerdo a los resultados obtenidos, el número utilizado de las enfermeras en el servicio de urgencias es más, que el número óptimo, establecido por el modelo.

En Philippe Chevalier (2012), se propone un sistema diseñado para proporcionar a la administración de la gestión de emergencias belga una herramienta de toma de decisión completa, para la ubicación de las estaciones de bomberos.

La originalidad del proyecto, incluye un enfoque de modelo de riesgo desarrollado a escala nacional con una representación completa de las realidades: físicas, humanas, económicas y espaciales, un enfoque de modelización de riesgos, generando con ello, una ubicación óptima y adecuada a través de un modelo de asignación (teniendo en cuenta, tanto la gestión de colas y problemas de personal).

El resultado final, es un instrumento operativo interactivo para lugares que definen: las asignaciones de equipos, personal, tiempos de respuesta, la relación costo / eficiencia. Esta herramienta flexible, se puede utilizar en la evaluación, así como un contexto prospectivo. Se ha utilizado, para dibujar un plan nacional de reorganización de los parques de bomberos que comenzó a ser implementado en el año 2010.

Para lo anterior, se desarrolló un modelo mediante la construcción de un sistema de gestión de base de datos adecuada (DBMS), para un modelo de asignación e ubicación, incorporando variables como: distancias, servicios prestados por cada compañía, costos asociados al servicios, entre otros.

Construida la base de datos, se desarrolla un modelo que permita definir la ubicación óptima en base a un modelo de dimensionamiento óptimo, entero mixto para encontrar la configuración mínima de costos para los servicios de emergencia que les permitan llegar a la escena de un determinado porcentaje de las emergencias, en un tiempo determinado, mediante modelos de búsqueda local.

### **3.3 Problemas asociados al recorrido**

Este tipo de problemas, tiene gran aplicación en el ámbito de la logística y distribución, así como en la programación de curvas de producción y en el sector de servicios.

El problema de enrutamiento o ruteo de vehículos (*VRP, vehicle routing problem*) fue introducido por Dantzig y Ramser en el año de 1959, quienes describieron una aplicación real de la entrega de gasolina a las estaciones de servicio y propusieron una formulación matemática. Cinco años después, Clarke y Wright propusieron el primer algoritmo que resultó efectivo para resolverlo. Y es así como se dio comienzo a grandes investigaciones y trabajos en el área de ruteo de vehículos.

Este problema puede entenderse como la intersección de dos conocidos problemas de optimización combinatoria. El primero, el del agente viajero (*TSP, traveling salesman problem*) considerando la capacidad de cada automóvil como infinita (*Applegate et al., 2006*) y el de empaquetamiento en compartimentos (*BPP, bin packing problem*) (*Martello y Toth, 1990*).

En particular, la solución de un problema de ruteo de vehículos (VRP), consiste en la determinación de un conjunto de rutas, cada una recorrida por un único vehículo que comienza y termina en un depósito o, en su defecto, en dos centros distintos, de modo de cumplir con el requerimiento de cada uno de los clientes. Satisfacer con todas las restricciones operacionales, y minimizar el objetivo, este último, por lo general, asociado a un costo de transporte.

Estos modelos han dado una serie de variantes al VRP, en las cuales se asocia entre algunas variables como la capacidad tanto, de los vehículos, como de los depósitos.

En la Figura 2, se muestran las principales variantes del VRP y la relación entre ellas. El problema de ruteo de vehículos capacitado (*Capacitated Vehicle Routing Problem, CVRP*) consiste, en minimizar el costo total de repartir una demanda determinística a cada cliente con una flota de vehículos idénticos, los que tienen una capacidad máxima y todos comienzan en un mismo depósito. Cuando se agrega la limitación de tiempo o distancia que cada vehículo puede emplear, corresponde a un problema de rutas de vehículos restringidos por capacidad y distancia (*Distance-Constrained CVRP, DCVRP*). El problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo (*VRP with Time Windows, VRPTW*), en donde cada cliente tiene asociado un intervalo de tiempo, y el vehículo debe atender a éste entre y considerando además, que el tiempo de servicio es al incorporar restricciones de ventanas de tiempo a los problemas de ruteo de vehículos con *Pickup y Delivery* (*VRPPD*) y con *backhauls* (*VRPB*), se generan el *VRPPDTW* Y *VRPB* *VRPTW*, respectivamente.

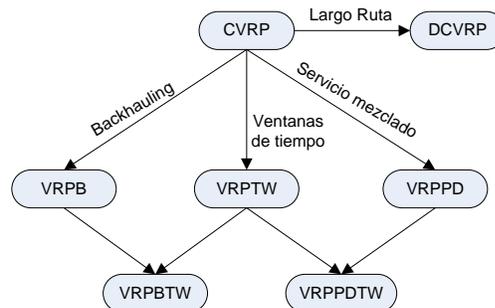


Figura 2: Variantes básicas del VRP y la relación entre ellas (Toth y Vigo, 2014)

En Stefanie Kritzinger (2014), se realiza una revisión bibliográfica sobre las técnicas de búsqueda adaptativa para los problemas de ruteo de vehículos, en el cual plantea que primeros estudios introducen estrategias a medida estáticas, pero las tendencias muestran, que los algoritmos con las políticas de adaptación genéricos, que surgieron en los últimos años, son más eficientes para resolver los complejos problemas de enrutamiento de vehículos a través del desarrollo de metaheurísticas, aplicándose métodos basadas en búsquedas locales, por ejemplo, Búsqueda Adaptativa Tabu (ATS) o guiado de búsqueda local (GLS), que progresaron a los métodos de búsqueda local híbridos, por ejemplo, búsqueda iterada local (ILS), adaptación de búsqueda variable de barrio (AVNS) y búsqueda adaptativa con vecindad grande (ALNS). También son aplicables métodos basados en la población, por ejemplo, Optimización de Colonia de Hormigas (ACO), memética y algoritmos genéticos (AGs).

En Hongqi Li (2013), se propone un algoritmo *Simulated Annealing* (SA) para desarrollar un modelo para incorporar dentro del problema de ruteo de vehículos, el concepto de minimizar la reducción de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), enfocado para las empresas de logística. El estudio trata del tractor y semirremolque del problema de enrutamiento, con camión completo entre dos depósitos de la Red; el cual propone un modelo de programación entera con el objetivo de minimizar las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada-kilómetro. Un enfoque de dos etapas, con los mismos pasos básicos del recocido simulado (SA), en ambas etapas está diseñado. El número de tractores se proporciona en la primera etapa y las emisiones de CO<sub>2</sub> por tonelada-kilómetro y luego se optimiza, en la segunda etapa. Experimentos computacionales en pequeña escala, instancias generadas aleatoriamente apoyaron la viabilidad y la validez del algoritmo heurístico. Para un problema de escala práctica, el algoritmo SA, puede proporcionar asesoramiento sobre el número de tractores, las rutas, y la ubicación del almacén central para darse cuenta de las emisiones de CO<sub>2</sub> disminuyen.

En Francis (2006), se presenta un modelo de aproximación continua para el problema periódico de enrutamiento de vehículos con servicios opcionales (PVRP-SC). El PVRP-SC es una variante del período de enrutamiento del problema de vehículos en el que la frecuencia de visita a los nodos es una decisión del modelo. Esta variación, puede resultar en excursiones de vehículos más eficientes y / o beneficio mayor servicio a los clientes. El modelo de aproximación continua, puede facilitar la planificación estratégica y táctica de los sistemas de distribución de periódicos y evaluar el valor de la opción de servicio considerando ventanas de tiempo. Además, los resultados del modelo continuo pueden proporcionar directrices, para la construcción de soluciones a la discreta PVRP-SC.

En López Franco (2012), se plantea un modelo matemático para un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos (MDVRP de sus siglas en inglés) en el cual optimiza dos funciones objetivos, la primera orientada a minimizar el costo total de operación, que está definido como el costo fijo de operación de los vehículos más, el costo variable de utilización y la segunda, busca optimizar el balanceo de carga, minimizando la diferencia entre la carga máxima y la carga mínima asignada a los vehículos donde plantea estrategias para el desarrollo de metaheurísticas basadas en sistemas de búsqueda y decisión multi-criterio.

En Jan Van Belle (2012), se realiza un estado del arte sobre la estrategia de logística de *Cross-docking*, método que consiste en determinar la carga y descarga de los vehículos entrantes y salientes sin almacenamiento en el medio. El *Cross-docking*, ofrece una serie de ventajas que se presentan a continuación:

- Reducción de costos (costos de almacenamiento, costos de inventario de retención, costos de manipulación, costos laborales, entre otros);
- Mejorar el tiempo de espera de entrega (del proveedor al cliente);
- Mejorar el servicio al cliente;
- Reducción del espacio de almacenamiento;
- Aumenta rotación de inventarios;
- Menos excedentes;
- Menor riesgo de pérdidas y daños.

Algunas ventajas de *cross-docking*, en comparación con las entregas de punto a punto son:

- Reducción de costos (costos de transporte, costos de mano de obra);
- Consolidación de los envíos;
- Utilización de recursos mejorada (por ejemplo, cargas completas);
- Mejor correspondencia entre las cantidades de envío y la demanda real.

Los problemas se encuentran orientados, en la ubicación de uno o más muelles transversales para el diseño de una red de distribución o de la cadena de suministro. Una decisión estratégica importante se refiere, a la posición de estos muelles transversales. Este problema no se puede manejar de forma aislada respecto, a las decisiones que determinan la forma en que los bienes fluyen a través de esta red, sino que también, se debe abarcar otros problemas que también involucran una correcta decisión en la gestión de operaciones. Por lo anterior y dependiendo la

forma y tipo de problema se formula, mediante un modelo de programación entera, donde en instancias pequeñas, se puede obtener resultados exactos con software informáticos tales como *LINGO*, *CPLEX* u otros paquetes de software de optimización, sin embargo, para problemas *NP-hard*, recomienda utilizar metaheurísticas, tales como *Tabu Search*, *Simulated Annealing*, *Ant Colony Search*, entre otras. Por ejemplo, en un problema propuesto plantean el enfoque *Simulated Annealing* para resolver los casos de problemas más grandes. Los experimentos computacionales, en casos de problemas generados indican que la metaheurística da resultados con una desviación de aproximadamente 4% de la solución óptima (obtenida con *LINGO*), pero 300-400 veces más rápido.



## **CAPITULO 4: MATERIALES Y MÉTODOS**

En base a la revisión bibliográfica descrita anteriormente y en virtud a las características propias del estudio, se propone modelar a través de un problema de ruteo de vehículos. Según lo planteado por Olivera (2004). Entonces, dado un conjunto de clientes y depósitos dispersos geográficamente y una flota de vehículos, se puede determinar el conjunto de rutas de costo mínimo que comiencen y terminen en los depósitos, de modo que los vehículos visiten a los clientes. Las características de los clientes, depósitos y vehículos, así como diferentes restricciones operativas sobre las rutas, dan lugar a diferentes variantes del problema. A continuación, se detallan algunos aspectos propuestos para el estudio.

### **4.1 SUPUESTOS**

#### **4.1.1. Los Clientes**

Cada cliente tiene cierta demanda que debe ser satisfecha por al menos un vehículo. En muchos casos, la demanda es un bien que ocupa lugar en los vehículos y es usual que un mismo vehículo no pueda satisfacer la demanda de todos los clientes en una misma ruta. Un caso equivalente al anterior, ocurre cuando los clientes son proveedores y se desea recoger la mercadería y transportarla hacia el depósito. También podría ocurrir, que la mercadería debe ser transportada a los clientes pero inicialmente no está en el depósito sino distribuida, en ciertos sitios de proveedores. En este caso, los proveedores deben ser visitados previos a los clientes.

En otros casos, la demanda no es un bien sino un servicio: el cliente simplemente debe ser visitado por el vehículo. Un mismo vehículo podría, potencialmente, visitar a todos los clientes. En otra variante del problema, cada cliente tiene una ubicación y desea ser transportado hacia otro sitio. Aquí la capacidad del vehículo impone, una cota sobre la cantidad de clientes que puede visitar simultáneamente.

Es usual, que cada cliente debe ser visitado exactamente una vez. Sin embargo, en ciertos casos se acepta que la demanda de un cliente sea, satisfecha en instantes de tiempo diferentes y por vehículos también diferentes.

Por otro lado, los clientes podrían tener restricciones relativas a su horario de servicio. Usualmente estas restricciones se expresan, en forma de intervalos de tiempo (denominados ventanas de tiempo), en los que se puede arribar al cliente.

En problemas con varios vehículos diferentes, pueden existir restricciones de compatibilidad entre éstos y los clientes. En estos casos, cada cliente sólo puede ser visitado por algunos de los vehículos (por ejemplo, algunos vehículos muy pesados no pueden ingresar en ciertas localidades).

En el presente estudio, se supone que los clientes como las comunas en donde se ejecutan los programas deportivos que imparte el Instituto Nacional de Deporte. Cada comuna o cliente dispone de una cierta cantidad de programas deportivos, los que se ejecutan en distintos horarios de la semana. A estos programas se le asigna a un supervisor (vehículo) para verificar la correcta ejecución de la actividad.

Para modelar el problema, tanto para las variables como los parámetros, son abordados bajo un enfoque “provincial” dado que, el sistema de trabajo de esta organización se encuentra organizado de esta forma, y permite mantener una correcta coordinación con las gobernaciones provinciales y a su vez, la distribución territorial de los programas también, se encuentran seleccionados de esta manera.

Como se describió en el capítulo N°2, existen 54 comunas en la región del Biobío, divididas en 4 provincias y que se describen en el cuadro 6:

Provincia	Capital provincial	Número de comunas
Arauco	Lebu	7
Biobío	Los Ángeles	14
Concepción	Concepción	12
Ñuble	Chillán	21

Cuadro 6: Cantidad de comunas por provincia

Fuente: <http://www.subdere.gov.cl/documentacion/regiones-provincias-y-comunas-de-chile>

Visitado el 5 de marzo de 2016

A continuación, en el cuadro 7, se detallan la cantidad de programas de cada comuna, según el territorio provincial:

Provincia	Comuna	Cantidad de Programas deportivos	Provincia	Comuna	Cantidad de Programas deportivos
Arauco	Arauco	6	Biobío	Alto Biobio	4
	Cañete	15		Antuco	5
	Contulmo	11		Cabrero	10
	Curanilahue	10		Laja	10
	Lebu	8		Los Angeles	25
	Los Alamos	8		Mulchen	9
	Tirua	12		Nacimiento	7
	Bulnes	7		Negrete	5
Ñuble	Chillán	25		Quilaco	3
	Chillán Viejo	6		Quilleco	2
	Cobquecura	6		San Rosendo	2
	Coelemu	7		Santa Barbara	7
	Coihueco	9		Tucapel	8
	El Carmen	4		Yumbel	5
	Ninhue	6	Concepción	Chiguayante	14
	Ñiquén	5		Concepción	26
	Pemuco	9		Coronel	21
	Pinto	6		Florida	8
	Portezuelo	3		Hualpén	12
	Quillón	11		Hualqui	8
	Quirihue	7		Lota	14
	Ránquil	5		Penco	10
	San Carlos	8		San Pedro de la paz	23
	San Fabián	4		Santa Juana	9
	San Ignacio	7	Talcahuano	17	
	San Nicolás	5	Tomé	10	
	Trehuaco	4			
	Yungay	5			

Cuadro 7: Descripción cantidad de programas deportivos por comuna  
Fuente: Departamento Actividad Física y Deporte, IND región del Biobío

#### 4.1.2. Los Depósitos

Tanto los vehículos como las mercaderías a distribuir (si las hubiera) suelen estar ubicadas en depósitos. Usualmente, se exige que cada ruta comience y finalice en un mismo depósito.

En los problemas con múltiples depósitos, cada uno de estos, tiene diferentes características, por ejemplo, ubicación y capacidad máxima de producción.

Podría ocurrir también, que cada depósito dispone, de una flota de vehículos asignada a priori o que dicha asignación sea, parte de lo deseado por determinar.

Los depósitos, al igual que los clientes, pueden tener ventanas de tiempo asociadas. En algunos casos debe considerarse, el tiempo necesario para cargar o preparar un vehículo antes de que comience su ruta, o el tiempo invertido en su limpieza al regresar. Incluso, por limitaciones de

los propios depósitos, se puede evitar que demasiados vehículos operen, en un mismo depósito a la vez (es decir, la congestión del depósito).

En el caso del presente estudio, se define que los depósitos, son las comunas de residencia de cada supervisor entendiéndose, que cada supervisor inicia su jornada laboral desde su hogar y retorna a la misma, una vez finalizada la supervisión de los programas deportivos. Por las características propias del problema, los supervisores se encuentran distribuidos en distintas comunas del territorio de la región, lo que constituye en un problema de múltiples depósitos. Además, las comunas de residencias asociadas a un supervisor, poseen también una demanda de programas deportivos, en que el supervisor también, debe fiscalizar la que se encuentra sujeta en función a los tiempos de recorrido a cada comuna.

A continuación, en los cuadros 8,9,10 y 11, se presentan los tiempos de transportes para cada comuna y de cada provincia, utilizando el transporte público, que se debe considerar en el estudio.

Tiempo trayecto (min)	Arauco	Cañete	Contulmo	Curanilahue	Lebu	Los Álamos	Tirúa
<b>Arauco</b>	0	125	181	61	136	95	231
<b>Cañete</b>	125	0	56	75	84	43	106
<b>Contulmo</b>	181	56	0	131	140	99	102
<b>Curanilahue</b>	61	75	131	0	86	46	181
<b>Lebu</b>	136	84	140	86	0	41	190
<b>Los Álamos</b>	95	43	99	46	41	0	150
<b>Tirúa</b>	231	106	102	181	190	150	0

Cuadro 8: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Arauco  
Fuente: Departamento Administración y Finanzas IND Biobío

Tiempo trayecto (min)	Antuco	Cabrero	Laja	Los Ángeles	Mulchén	Nacimiento	Negrete	Quilaco	Quilleco	San Rosendo	Santa Bárbara	Yumbel	Alto Biobío	Tucapel
<b>Antuco</b>	0	159	221	125	184	198	193	173	83	226	166	231	260	104
<b>Cabrero</b>	159	0	85	87	141	136	131	150	124	88	144	29	221	70
<b>Laja</b>	221	85	0	77	120	99	95	146	139	4	140	57	218	158
<b>Los Ángeles</b>	125	87	77	0	52	58	53	69	62	81	63	91	155	80
<b>Mulchén</b>	184	141	120	52	0	101	51	37	109	124	43	145	103	132
<b>Nacimiento</b>	198	136	99	58	101	0	27	127	120	103	121	140	198	138
<b>Negrete</b>	193	131	95	53	51	27	0	122	116	99	117	135	194	133
<b>Quilaco</b>	173	150	146	69	37	127	122	0	72	150	6	154	85	111
<b>Quilleco</b>	83	124	139	62	109	120	116	72	0	143	67	147	144	38
<b>San Rosendo</b>	226	88	4	81	124	103	99	150	143	0	144	60	221	161
<b>Santa Bárbara</b>	166	144	140	63	43	121	117	6	67	144	0	148	77	105
<b>Yumbel</b>	231	29	57	91	145	140	135	154	147	60	148	0	225	98
<b>Alto Biobío</b>	260	221	218	155	103	198	194	85	144	221	77	225	0	270
<b>Tucapel</b>	104	70	158	80	132	138	133	111	38	161	105	98	270	0

Cuadro 9: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Biobío  
Fuente: Departamento Administración y Finanzas IND Biobío

Tiempo trayecto (min)	Chiguayante	Concepción	Coronel	Florida	Hualpén	Hualqui	Lota	Penco	San Pedro de la Paz	Santa Juana	Talcahuano	Tomé
Chiguayante	0	25	58	88	42	21	71	37	23	91	46	63
Concepción	25	0	45	60	20	35	50	20	22	50	30	30
Coronel	58	45	0	116	61	79	13	65	35	62	64	91
Florida	88	60	116	0	94	109	129	81	81	151	91	108
Hualpén	42	20	61	94	0	64	73	43	25	101	23	69
Hualqui	21	35	79	109	64	0	92	58	44	112	68	85
Lota	71	50	13	129	73	92	0	78	48	73	77	104
Penco	37	20	65	81	43	58	78	0	30	100	28	26
San Pedro de la Paz	23	22	35	81	25	44	48	30	0	81	29	56
Santa Juana	91	50	62	151	101	112	73	100	81	0	105	127
Talcahuano	46	30	64	91	23	68	77	28	29	105	0	55
Tomé	63	30	91	108	69	85	104	26	56	127	55	0

Cuadro 10: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Concepción  
Fuente: Departamento Administración y Finanzas IND Biobío

Tiempo de trayecto (min)	Bulnes	Chillán	Chillán Viejo	Cobquecura	Coelemu	Coihueco	El Carmen	Ninhue	Pemuco	Pinto	Portezuelo	Quillón	Quirihue	San Carlos	San Fabián	Nquén	San Ignacio	San Nicolás	Trehuaco	Yungay	Ranquíl
Bulnes	0	39	37	214	158	83	65	97	73	76	80	27	146	80	173	128	58	63	173	101	37
Chillán	39	0	5	186	169	46	70	72	78	40	59	67	120	42	128	85	49	38	135	105	79
Chillán Viejo	37	5	0	191	167	48	64	77	72	42	57	66	125	47	134	90	44	43	139	100	84
Cobquecura	186	162	166	0	104	207	243	94	252	201	114	237	58	172	270	235	219	124	90	266	135
Coelemu	158	169	167	120	0	212	238	82	247	206	102	132	57	160	270	221	221	112	15	262	55
Coihueco	83	46	48	238	212	0	117	118	124	21	103	111	171	88	67	137	96	84	181	148	127
El Carmen	61	65	60	261	222	109	0	137	26	102	118	82	191	107	206	160	43	103	200	57	97
Ninhue	97	72	77	108	82	118	147	0	156	112	29	125	45	83	178	131	125	34	67	177	150
Pemuco	68	72	67	268	229	115	26	144	0	109	124	89	198	114	215	167	49	110	206	34	130
Pinto	76	40	42	231	206	21	109	112	118	0	96	105	163	82	92	130	88	78	174	142	114
Portezuelo	80	59	57	131	102	103	126	29	134	96	0	68	68	92	188	141	105	48	88	157	80
Quillón	27	67	66	270	132	111	88	125	96	105	68	0	202	108	208	160	80	91	147	122	50
Quirihue	133	109	114	61	52	155	186	41	194	148	62	184	0	119	221	174	164	71	37	213	82
San Carlos	80	42	47	198	160	88	114	83	123	82	92	108	131	0	82	39	93	49	145	147	117
San Fabián	144	107	112	270	225	56	184	148	193	77	157	173	202	68	0	114	162	113	210	212	186
Nquén	111	74	78	235	192	119	149	114	157	113	123	139	166	34	119	0	127	80	177	178	153
San Ignacio	55	47	42	240	210	91	44	119	51	84	100	76	172	89	185	139	0	85	182	80	77
San Nicolás	63	38	43	143	112	84	110	34	119	78	48	91	78	49	136	92	89	0	97	143	117
Trehuaco	173	135	139	104	15	181	214	67	222	174	88	147	41	145	252	204	191	97	0	239	53
Yungay	101	105	100	270	262	148	61	177	37	142	157	122	234	147	254	205	84	143	239	0	138
Ranquíl	37	79	84	155	55	127	104	150	140	114	80	50	90	117	223	176	81	117	53	138	0

Cuadro 11: Tiempo de trayecto por comuna provincia de Ñuble  
Fuente: Departamento Administración y Finanzas IND Biobío

#### **4.1.3. Los Vehículos:**

La capacidad de un vehículo puede tener varias dimensiones, como por ejemplo peso y volumen. Cuando en un mismo problema existen diferentes mercaderías, los vehículos pueden tener compartimentos, de modo que la capacidad del vehículo dependa del tipo de mercadería a trasladar. En general, cada vehículo tiene asociado un costo fijo, en el que se incurre al utilizarlo y un costo variable proporcional a la distancia recorrida.

Los problemas en que los atributos (capacidad, costo, etc.) son los mismos, para todos los vehículos se denominan de flota homogénea, en caso contrario son de flota heterogénea. La cantidad de vehículos disponibles puede ser un dato de entrada o una variable de decisión. El objetivo más usual suele ser utilizar, la menor cantidad de vehículos y minimizar la distancia recorrida sería, en un segundo caso.

Regulaciones legales pueden imponer restricciones, sobre el tiempo máximo que un vehículo debe estar en circulación e incluso prohibir el paso de ciertos vehículos por ciertas zonas. En algunos casos, se desea que la cantidad de trabajo realizado por los vehículos (usualmente el tiempo de viaje), no sea muy dispar.

En general, se asume que cada vehículo recorre una sola ruta en el periodo de planificación, pero últimamente se han estudiado modelos en los que un mismo vehículo puede recorrer más de una ruta.

En el caso de nuestro estudio, se entiende que el vehículo es representado por el supervisor que debe visitar las comunas donde se ejecutan las actividades deportivas y cada supervisor, tiene las mismas capacidades para supervisar cualquier programa deportivo por ende, tiene capacidad homogénea y debe recorrer haciendo uso del transporte público, para efectuar las supervisiones y cada programa debe ser visitado por un único supervisor.

A continuación, en los cuadros 12, 13,14 y 15, se presentan los parámetros asociados al tarifario del servicio de uso del transporte público distribuido por provincias.

Tarifario (\$)	Arauco	Cañete	Contulmo	Curanilahue	Lebu	Los Álamos	Tirúa
<b>Arauco</b>	0	2.400	3.500	1.200	2.600	1.800	4.400
<b>Cañete</b>	2.400	0	1.100	1.500	1.600	800	1.500
<b>Contulmo</b>	3.500	1.100	0	2.500	2.700	1.900	2.000
<b>Curanilahue</b>	1.200	1.500	2.500	0	1.700	900	3.500
<b>Lebu</b>	2.600	1.600	2.700	1.700	0	800	3.600
<b>Los Álamos</b>	1.800	800	1.900	900	800	0	2.900
<b>Tirúa</b>	4.400	1.500	2.000	3.500	3.600	2.900	0

Cuadro 12: Descripción tarifario transporte público provincia de Arauco

Fuente: Seremi de transporte región del Biobío

Tarifario (\$)	Antuco	Cabrero	Laja	Los Ángeles	Mulchen	Nacimiento	Negrete	Quilaco	Quilleco	San Rosendo	Santa Bárbara	Yumbel	Alto BioBío	Tucapel
<b>Antuco</b>	0	3.000	3.400	1.900	2.800	3.000	2.900	2.600	1.300	3.500	2.500	3.500	4.000	1.600
<b>Cabrero</b>	3.000	0	1.600	1.700	2.700	2.600	2.500	2.900	2.400	1.700	2.800	600	4.200	1.300
<b>Laja</b>	3.400	1.600	0	1.500	2.300	1.900	1.800	2.800	2.700	350	2.700	1.100	4.200	3.000
<b>Los Ángeles</b>	1.900	1.700	1.500	0	1.000	1.100	1.000	1.300	1.200	1.500	1.200	1.700	3.000	1.500
<b>Mulchen</b>	2.800	2.700	2.300	1.000	0	1.900	1.000	700	2.100	2.400	800	2.800	2.000	2.500
<b>Nacimiento</b>	3.000	2.600	1.900	1.100	1.900	0	500	2.400	2.300	2.000	2.300	2.700	3.800	2.600
<b>Negrete</b>	2.900	2.500	1.800	1.000	1.000	500	0	2.300	2.200	1.900	2.200	2.600	3.700	2.500
<b>Quilaco</b>	2.600	2.900	2.800	1.300	700	2.400	2.300	0	1.400	2.900	350	2.900	1.600	2.100
<b>Quilleco</b>	1.300	2.400	2.700	1.200	2.100	2.300	2.200	1.400	0	2.700	1.300	2.800	2.800	700
<b>San Rosendo</b>	3.500	1.700	350	1.500	2.400	2.000	1.900	2.900	2.700	0	2.800	1.200	4.200	3.100
<b>Santa Bárbara</b>	2.500	2.800	2.700	1.200	800	2.300	2.200	350	1.300	2.800	0	2.800	1.500	2.000
<b>Yumbel</b>	3.500	600	1.100	1.700	2.800	2.700	2.600	2.900	2.800	1.200	2.800	0	4.300	1.900
<b>Alto BioBío</b>	4.000	4.200	4.200	3.000	2.000	3.800	3.700	1.600	2.800	4.200	1.500	4.300	0	3.800
<b>Tucapel</b>	1.600	1.300	3.000	1.500	2.500	2.600	2.500	2.100	700	3.100	2.000	1.900	5.200	0

Cuadro 13: Descripción tarifario transporte público provincia de Biobío

Fuente: Seremi de transporte región del Biobío

Tarifario (\$)	Chiguayante	Concepción	Coronel	Florida	Hualpen	Hualqui	Lota	Penco	San Pedro de la Paz	Santa Juana	Talcahuano	Tome
<b>Chiguayante</b>	0	450	1.100	1.700	450	450	1.400	450	450	1.700	450	1.200
<b>Concepción</b>	450	0	1.500	2.200	450	450	1.500	450	450	1.300	450	900
<b>Coronel</b>	1.100	1.500	0	2.200	1.200	1.500	400	1.200	700	1.200	1.200	1.700
<b>Florida</b>	1.700	2.200	2.200	0	1.800	2.100	2.500	1.600	1.500	2.900	1.700	2.100
<b>Hualpen</b>	450	450	1.200	1.800	0	450	1.400	450	450	1.900	450	1.300
<b>Hualqui</b>	450	450	1.500	2.100	450	0	1.800	450	450	2.100	450	1.600
<b>Lota</b>	1.400	1.500	400	2.500	1.400	1.800	0	1.500	900	1.400	1.500	2.000
<b>Penco</b>	450	450	1.200	1.600	450	450	1.500	0	900	1.900	450	500
<b>San Pedro de la Paz</b>	450	450	700	1.500	450	450	900	900	0	1.600	450	1.100
<b>Santa Juana</b>	1.700	1.300	1.200	2.900	1.900	2.100	1.400	1.900	1.600	0	2.000	2.400
<b>Talcahuano</b>	450	450	1.200	1.700	450	450	1.500	450	450	2.000	0	1.000
<b>Tome</b>	1.200	900	1.700	2.100	1.300	1.600	2.000	500	1.100	2.400	1.000	0

Cuadro 14: Descripción tarifario transporte público provincia de Concepción

Fuente: Seremi de transporte región del Biobío

Tarifario (\$)	Bulnes	Chillán	Chillán Viejo	Cobquecura	Coelemu	Coihueco	El Carmen	Ninhue	Pemuco	Pinto	Portezuelo	Quillón	Quirihue	San Carlos	San Fabián	Niquén	San Ignacio	San Nicolás	Trehuaco	Yungay	Ránquil
Bulnes	0	700	700	3.600	3.000	1.600	1.200	1.900	1.300	1.500	1.500	500	2.600	1.500	2.800	2.100	1.100	1.200	3.300	1.900	700
Chillán	700	0	350	3.100	3.200	900	1.200	1.400	1.400	800	1.100	1.300	2.100	800	2.000	1.400	900	700	2.600	2.000	1.500
Chillán Viejo	700	350	0	3.200	3.200	900	1.200	1.500	1.300	800	1.100	1.300	2.200	900	2.100	1.500	800	800	2.700	1.900	1.600
Cobquecura	3.600	3.100	3.200	0	2.000	4.000	4.300	1.800	4.500	3.800	2.200	4.500	1.000	3.300	4.500	3.900	4.000	2.400	1.700	5.100	2.600
Coelemu	3.000	3.200	3.200	2.000	0	4.100	4.200	1.600	4.400	3.900	2.000	2.500	1.000	3.100	4.300	3.700	4.000	2.100	300	5.000	1.100
Coihueco	1.600	900	900	4.000	4.100	0	2.100	2.300	2.200	400	2.000	2.100	3.000	1.700	1.100	2.300	1.700	1.600	3.500	2.800	2.400
El Carmen	1.200	1.200	1.200	4.300	4.200	2.100	0	2.600	500	2.000	2.200	1.600	3.300	2.000	3.300	2.600	800	2.000	3.800	1.100	1.900
Ninhue	1.900	1.400	1.500	1.800	1.600	2.300	2.600	0	2.800	2.100	600	2.400	800	1.600	2.800	2.200	2.300	700	1.300	3.400	2.900
Pemuco	1.300	1.400	1.300	4.500	4.400	2.200	500	2.800	0	2.100	2.400	1.700	3.500	2.200	3.400	2.800	900	2.100	3.900	700	2.500
Pinto	1.500	800	800	3.800	3.900	400	2.000	2.100	2.100	0	1.800	2.000	2.800	1.600	1.500	2.200	1.600	1.500	3.300	2.700	2.200
Portezuelo	1.500	1.100	1.100	2.200	2.000	2.000	2.200	600	2.400	1.800	0	1.300	1.200	1.800	3.000	2.400	1.900	900	1.700	3.000	1.500
Quillón	500	1.300	1.300	4.500	2.500	2.100	1.600	2.400	1.700	2.000	1.300	0	3.500	2.100	3.300	2.700	1.500	1.700	2.800	2.300	1.000
Quirihue	2.600	2.100	2.200	1.000	1.000	3.000	3.300	800	3.500	2.800	1.200	3.500	0	2.300	3.500	2.900	3.000	1.400	700	4.100	1.600
San Carlos	1.500	800	900	3.300	3.100	1.700	2.000	1.600	2.200	1.600	1.800	2.100	2.300	0	1.300	700	1.700	900	2.800	2.800	2.200
San Fabián	2.800	2.000	2.100	4.500	4.300	1.100	3.300	2.800	3.400	1.500	3.000	3.300	3.500	1.300	0	1.900	2.900	2.200	4.000	4.000	3.600
Niquén	2.100	1.400	1.500	3.900	3.700	2.300	2.600	2.200	2.800	2.200	2.400	2.700	2.900	700	1.900	0	2.300	1.500	3.400	3.400	2.900
San Ignacio	1.100	900	800	4.000	4.000	1.700	800	2.300	900	1.600	1.900	1.500	3.000	1.700	2.900	2.300	0	1.600	3.500	1.500	1.500
San Nicolás	1.200	700	800	2.400	2.100	1.600	2.000	700	2.100	1.500	900	1.700	1.400	900	2.200	1.500	1.600	0	1.800	2.700	2.200
Trehuaco	3.300	2.600	2.700	1.700	300	3.500	3.800	1.300	3.900	3.300	1.700	2.800	700	2.800	4.000	3.400	3.500	1.800	0	4.600	1.000
Yungay	1.900	2.000	1.900	5.100	5.000	2.800	1.100	3.400	700	2.700	3.000	2.300	4.100	2.800	4.000	3.400	1.500	2.700	4.600	0	2.600
Ránquil	700	1.500	1.600	2.600	1.100	2.400	1.900	2.900	2.500	2.200	1.500	1.000	1.600	2.200	3.600	2.900	1.500	2.200	1.000	2.600	0

Cuadro 15: Descripción tarifario transporte público provincia de Ñuble  
Fuente: Seremi de transporte región del Biobío

En virtud a lo anterior y considerando, que se debe determinar la cantidad óptima de supervisores a contratar dentro de la región y que cada actividad de los programas deportivos puede realizarse en distintos horarios y días, muchas veces coinciden los días y los horarios de cada taller por lo tanto, se debe definir el programa o producto a visitar y además, cada supervisor debe supervisar, dentro de una programación y meta establecida.

Adicionalmente, se incorporan otros conceptos que se definen a continuación:

#### 4.1.4. Variantes al problema de ruteo de vehículos (VRP)

##### a). Depósitos múltiples (MDVRP)

Se dispone de un conjunto de depósitos o comunas de residencia de los supervisores a utilizar para cubrir cierto número de programas. Cada depósito contiene, una flota homogénea, es decir, con la misma capacidad, donde en cada depósito, existe uno o más supervisores.

##### b) Ventanas de tiempo (VRPTW)

En cada recinto en donde se realiza la actividad deportiva se dispone, de un intervalo de tiempo en el que al supervisor, se le asigna la actividad y obligatoriamente, debe ser visitado en ese periodo.

A continuación, en los cuadros 16, 17, 18 y 19, se detallan los horarios semanales, donde se ejecutan los programas deportivos por provincia desglosada por inicio y fin de la programación:

<b>Horario Inicio</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	<b>Horario término</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Antuco</b>	19:00	17:00	19:00	16:00		15:30		<b>Antuco</b>	20:30	20:00	20:30	20:00		17:00	
<b>Cañete</b>	15:00	14:45	15:00	16:00	14:00	12:00	10:30	<b>Cañete</b>	21:00	21:00	21:00	18:00	19:00	18:00	12:00
<b>Contulmo</b>	14:30	14:40	16:30	14:40	13:45	9:30	13:30	<b>Contulmo</b>	19:00	20:30	19:30	20:00	17:00	15:00	15:00
<b>Curanilahue</b>	16:00	15:30	13:30	15:30	14:30	10:30		<b>Curanilahue</b>	20:30	19:30	19:30	18:30	20:30	15:30	
<b>Lebu</b>	15:00	11:00	14:00	15:00	14:00	11:30	11:00	<b>Lebu</b>	18:30	16:30	18:30	19:00	17:00	13:00	12:30
<b>Los Alamos</b>	16:30	14:45	16:30		14:45	12:00		<b>Los Alamos</b>	18:00	18:15	19:30		19:00	18:00	
<b>Tirúa</b>	15:00	11:00	14:00	16:00	14:45	11:30		<b>Tirúa</b>	20:30	19:00	20:30	18:00	20:30	18:00	

Cuadro 16: Ventanas de tiempo provincia de Arauco  
Fuente: Departamento Actividad Física IND región del Biobío

<b>Horario Inicio</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	<b>Horario término</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Antuco</b>	19:00	17:00	19:00	16:00		15:30		<b>Antuco</b>	20:30	20:00	20:30	20:00		17:00	
<b>Cabrero</b>	15:00	14:45	15:00		14:45	12:00	10:30	<b>Cabrero</b>	21:30	21:30	21:30		19:00	18:00	12:00
<b>Laja</b>	16:00		17:00	16:00	14:00	10:00	10:00	<b>Laja</b>	18:30		18:30	19:00	18:45	17:30	13:30
<b>Los Ángeles</b>	15:00	14:45	15:00	16:00	14:00	10:00	10:30	<b>Los Ángeles</b>	21:30	21:30	21:30	20:30	19:00	18:00	14:00
<b>Mulchen</b>	16:00		17:00	17:30	15:00	11:30	10:00	<b>Mulchén</b>	18:30		18:30	19:00	18:45	17:30	13:30
<b>Nacimiento</b>	17:30	16:30		16:30	13:45	9:30	12:30	<b>Nacimiento</b>	19:00	20:30		20:30	18:00	15:30	14:00
<b>Negrete</b>	14:30	14:40	18:00	14:40	14:15			<b>Negrete</b>	19:00	18:00	19:30	18:00	16:30		
<b>Quilaco</b>	16:30		16:30		15:30	14:00	13:30	<b>Quilaco</b>	18:00		19:30		17:00	15:30	15:00
<b>Quilleco</b>	19:00	15:30		15:30	19:00			<b>Quilleco</b>	20:30	17:00		17:00	20:30		
<b>San Rosendo</b>			15:30		15:30	10:30		<b>San Rosendo</b>			17:00		18:00	12:00	
<b>Santa Bárbara</b>	16:00	16:00	13:30	17:00	14:30	11:30		<b>Santa Bárbara</b>	20:00	19:30	17:00	20:00	20:30	17:00	
<b>Yungay</b>	16:30	14:45	16:30		16:00	14:00		<b>Yungay</b>	18:00	18:15	18:00		19:00	18:00	
<b>Alto Biobío</b>	16:00		17:00	17:30	15:00	16:00	11:00	<b>Alto Biobío</b>	18:30		18:30	19:00	17:30	17:30	12:30
<b>Tucapel</b>	15:20	15:00	13:30	15:00	14:00	11:30	16:00	<b>Tucapel</b>	17:30	19:30	18:30	17:30	17:00	13:00	17:30

Cuadro 17: Ventanas de tiempo provincia de Biobío  
Fuente: Departamento Actividad Física IND región del Biobío

<b>Horario Inicio</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	<b>Horario término</b>	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Chiguayante</b>	14:30	14:40	16:30	14:40	14:15	14:00	13:30	<b>Chiguayante</b>	19:00	18:15	19:30	18:00	19:00	18:00	15:00
<b>Concepción</b>	15:00	14:45	13:30	15:30	14:30	10:30	16:00	<b>Concepción</b>	21:30	21:30	21:30	20:00	20:30	18:00	17:30
<b>Coronel</b>	14:30	14:30	12:15	14:40	13:30	9:30	10:30	<b>Coronel</b>	19:00	20:30	19:30	20:30	17:30	17:30	15:00
<b>Florida</b>	16:15	16:30	16:00	16:00	14:00	10:00	10:00	<b>Florida</b>	17:45	18:00	17:45	18:00	18:00	15:30	11:30
<b>Hualpén</b>	16:00	16:00	15:45	15:00	13:45	9:30	10:00	<b>Hualpén</b>	21:30	21:30	21:30	20:30	19:00	18:30	12:00
<b>Hualqui</b>	14:30	14:40	18:00	14:40	14:15		13:30	<b>Hualqui</b>	19:00	20:30	19:30	20:00	17:00		15:00
<b>Lota</b>	15:20	15:00	13:30	15:00	14:00	10:30		<b>Lota</b>	20:30	19:30	19:30	18:30	20:30	15:30	
<b>Penco</b>	15:00	11:00	14:00	17:30	14:45	11:30	11:00	<b>Penco</b>	18:30	18:15	18:30	19:00	19:00	18:00	12:30
<b>San Pedro de la Paz</b>	15:00	11:00	14:00	15:30	14:45	11:30	11:00	<b>San Pedro de la Paz</b>	20:30	20:00	20:30	20:00	20:30	18:00	12:30
<b>Santa Juana</b>	15:00	14:45	15:00	16:30	14:45	12:00		<b>Santa Juana</b>	20:30	20:30	20:30	18:00	19:00	18:00	
<b>Talcahuano</b>	16:00		17:00	16:00	14:00	10:00	10:00	<b>Talcahuano</b>	21:30	21:30	21:30	20:30	18:45	17:30	14:00
<b>Tomé</b>	15:00	14:45	15:00	16:00	14:45	12:00		<b>Tomé</b>	20:30	20:00	20:30	20:00	17:30	18:00	

Cuadro 18: Ventanas de tiempo provincia de Concepción  
Fuente: Departamento Actividad Física IND región del Biobío

Horario Inicio	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Horario Término	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
<b>Bulnes</b>	16:00	17:00	17:00	16:00	15:00	15:30		<b>Bulnes</b>	21:30	21:30	21:30		19:00	16:30	
<b>Chillán</b>	14:30	14:40	17:00	14:40	13:45	9:30	10:00	<b>Chillán</b>	19:00	20:30	19:30	20:30	18:45	17:30	15:00
<b>Chillán Viejo</b>	16:30	17:30	15:45		14:00	12:00	10:30	<b>Chillán Viejo</b>	21:30	21:30	21:30		17:15	15:30	12:00
<b>Cobquecura</b>	14:30	16:30		16:30	13:45	9:30		<b>Cobquecura</b>	16:00	20:30		20:30	16:00	15:30	
<b>Coelemu</b>	16:30	14:40	16:30	14:40	14:15		11:00	<b>Coelemu</b>	19:00	19:15	19:30	19:15	17:30		15:00
<b>Coihueco</b>	16:15	14:30	12:15	16:00	13:30	9:30	10:00	<b>Coihueco</b>	18:00	16:00	17:45	17:30	17:30	17:30	11:30
<b>El Carmen</b>		16:30	16:00	16:30	16:00	10:00		<b>El Carmen</b>		18:00	17:30	18:00	18:00	11:30	
<b>Ninhue</b>	16:00	16:00	16:00	15:00	16:00	17:00	10:00	<b>Ninhue</b>	18:30	19:30	18:30	16:30	19:00	18:30	11:30
<b>Pemuco</b>	15:20	11:00	13:30	15:00	14:00	11:30		<b>Pemuco</b>	17:30	19:30	17:00	17:30	17:00	13:00	
<b>Pinto</b>	16:30	14:45	16:30	17:30	14:45	12:00	11:00	<b>Pinto</b>	18:00	18:15	18:00	19:00	19:00	18:00	12:30
<b>Portezuelo</b>		16:30			16:00	15:00		<b>Portezuelo</b>		18:00			19:00	16:30	
<b>Quillón</b>	15:00	17:30	15:00	16:00	14:00	10:00	10:00	<b>Quillón</b>	21:30	21:30	21:30	19:00	17:15	15:30	12:30
<b>Quirihue</b>	16:30	14:45	16:30		16:00	14:00		<b>Quirihue</b>	21:30	21:30	21:30		19:00	18:00	
<b>San Carlos</b>	14:30	14:40	18:00	14:40	14:15		13:30	<b>San Carlos</b>	19:00	20:30	19:30	20:00	17:00		15:00
<b>San Fabián</b>	15:20	11:00	14:00	15:00	14:00	11:30		<b>San Fabián</b>	20:30	17:00	19:30	17:00	20:30	15:30	
<b>Niquén</b>	19:00	15:30	15:30	15:30	15:30	10:30		<b>Niquén</b>	20:30	17:30	17:00	18:30	20:30	12:00	
<b>San Ignacio</b>	16:00	16:00	13:30	17:00	14:30	10:30		<b>San Ignacio</b>	17:30	19:30	17:00	18:30	18:00	13:00	
<b>San Nicolás</b>	15:20	11:00	14:00	15:00	14:00	11:30		<b>San Nicolás</b>	16:50	16:30	15:30	17:30	17:00	13:00	
<b>Trehuaco</b>	15:00		15:00	17:30	14:45	12:00	11:00	<b>Trehuaco</b>	18:30		18:30	19:00	16:15	13:30	12:30
<b>Yungay</b>	16:30	14:45	16:30		16:00	14:00		<b>Yungay</b>	18:00	18:15	18:00		19:00	18:00	
<b>Ranquil</b>		17:30	15:45	19:00	13:45	9:30	10:30	<b>Ranquil</b>		20:30	17:15	20:30	17:15	15:30	12:00

Cuadro 19: Ventanas de tiempo provincia de Ñuble  
Fuente: Departamento Actividad Física IND región del Biobío

### c). Periódico (PVRP):

Consiste en determinar  $K$  ciclos, en un horizonte de  $p$  días, con costo mínimo de tal manera que cada recinto deportivo es visitado por  $n_i$  ciclos, donde cada visita se realiza en una combinación de días de visitas disponibles para cada recinto y a su vez, de modo que, la suma de las demandas de los vértices de un ciclo no exceda, la capacidad del supervisor.

## 4.2. Formulación del Modelo

De acuerdo con lo anterior, el problema se puede modelar a través del problema de ruteo de vehículos, con múltiples depósitos y formulado por dos modelos matemáticos, que funcionan en secuencia. Primero, se desarrolla un problema de ruteo de vehículos multidepósito, para asignar depósitos (o comunas de residencia de los supervisores) y vehículos (que en este caso son supervisores) a la zona geográfica en estudio. Este modelo logra incorporar, a la asignación los diversos costos y tiempos de viaje involucrados además, de un manejo efectivo de la carga laboral, dado que puede homogenizar la carga de programas deportivos a los supervisores. Este primer modelo, permite establecer un primer filtro porque considera, la programación de todas las actividades a desarrollar en un día. Segundo, una vez que la asignación ha sido efectuada, se considera cada depósito (comuna) con sus correspondientes vehículos (supervisores), y se le aplica un modelo de ruteo de vehículos de tipo monodepósito, periódico y con ventanas de tiempo, porque se debe generar una programación para cada vehículo (supervisor) en un periodo de tiempo determinado y además, este vehículo (supervisor) debe respetar los horarios establecidos, de visitas de cada cliente (programas) como también los tiempos de trayecto a cada comuna. Lo anterior, se describe esquemáticamente en la Figura 3:

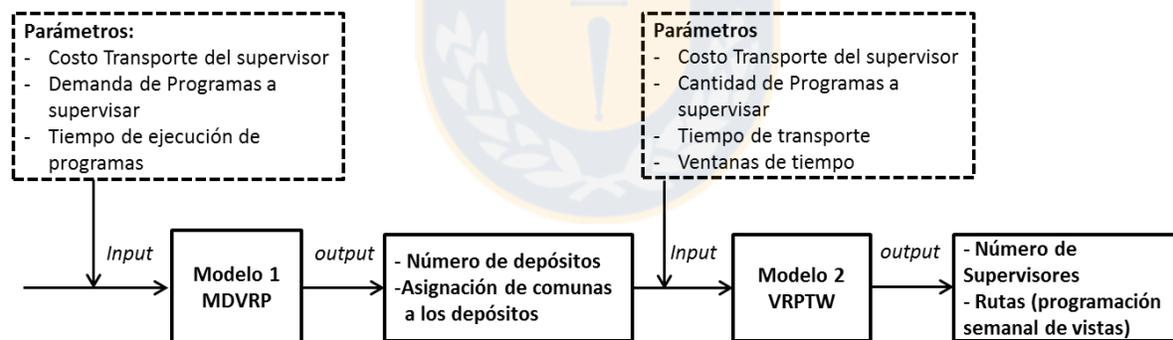


Figura 3: Descripción conceptual modelo matemático

A continuación se procede a describir el modelo según lo planteado en la Figura 3

#### 4.2.1. Descripción Modelo 1: MDVRP.

El MDVRP se puede abordar como un problema de ruteo de vehículos con múltiples depósitos y así, realizar una asignación primaria de la flota de supervisores a cada una de las comunas involucradas, determinando también, los lugares de residencia o depósitos de estos supervisores.

Para esto, al modelo se le entregan un conjunto de índices y parámetros, los que son descritos a continuación:

##### Conjunto de Índices:

$i$ : Comunas, representan el universo de clientes, a los cuales están dirigidos los programas del IND,  $i = \{1, \dots, I\}$

$v$ : Supervisores, corresponde a los profesionales que contrata el IND para la efectuar las supervisiones a los programas deportivos. Cada uno de los supervisores posee, la misma capacidad o carga de trabajo.  $v = \{1, \dots, V\}$

$p$ : Depósitos; En primer instancia, corresponde a cada una de las comunas, ya que cada una de ellas podría ser potencialmente un depósito. Esto último lo determinará el modelo.  $p = \{1, \dots, P\}$

##### Conjunto de Parámetros:

$c_{ij}$  = Costo de ir de  $i$  a  $j$  : Es el costo de transporte de ir desde el nodo o comuna  $i$  al nodo  $j$

$c_v$  = Costo de usar vehículos  $v$  : Es el costo de utilizar un supervisor

$c_p$  = Costo de usar deposito  $p$ : Es el costo de utilizar una comuna como residencia o depósito

$t_{ij}$  = Tiempo de viaje para ir de  $i$  a  $j$ : Es el tiempo de transporte del supervisor para ir de la comuna  $i$  a la comuna  $j$

$st_i$  = Tiempo de servicio en nodo  $i$ : Corresponde al tiempo en que el supervisor se demora en realizar la supervisión del programa

$w_i$  = Demanda en nodo  $i$ : Cantidad de programas asignados a la comuna  $i$

$q$  = Capacidad del vehículo: Representa la capacidad de cobertura de un supervisor, medida en programas por día.

$ct$  = Costo por hora de viaje. Corresponde al costo por hora de desplazamiento.

## Indices

$I = \text{Comunas por visitar (clientes)}; i = 1, \dots, I;$

$V = \text{Supervisores (vehículos)} \quad ; v = 1, \dots, V;$

$P = \text{Comunas de residencia (depósitos)} ; p = 1, \dots, P ;$

La asignación primaria del MDVRP considera como principal supuesto, que intenta cubrir los requerimientos de las distintas ciudades sin utilizar ninguna regla de asignación (ventanas de tiempo, rutas específicas), más que sólo minimizar costos.

Los *outputs* obtenidos de MDVRP serán los *inputs* de VRPTW. Estos *outputs* serán los depósitos con sus correspondientes supervisores y comunas,

### 4.2.2. Descripción del modelo 2: VRPTW

Los *inputs* de VRPTW se extienden a un periodo de planeación a largo plazo, es decir, semanas o meses, y se le agregan ventanas de tiempo como regla de asignación. De esta forma, se logra elaborar una programación para cada zona geográfica, de manera independiente de las otras. El VRPTW se desarrolla de manera focalizada, es decir, realizando la programación de rutas para un conjunto de supervisores de un determinado depósito.

Para esto, al modelo se le entregan conjuntos de índices y parámetros, los que son descritos a continuación:

#### Conjunto de Índices:

$s = \text{Programaciones}$ : Fechas específicas en las cuales se pueden realizar las vistas dentro de las comunas.  $s = \{1, \dots, S\}$

$k = \text{Vehículos}$ : Corresponden a los supervisores,  $k = \{1, \dots, K\}$

$d = \text{Días}$ : Días que conforman el periodo de planeación,  $d = \{1, \dots, D\}$

$n = \text{Clientes}$ : Comunas donde se realizan los programas deportivos,  $n = \{1, \dots, N\}$

$N_0 = \text{Clientes} + \text{depósito}$ : Comunas donde se realizan los programas deportivos, incluyendo lugar de residencia. ,  $n_o = \{1, \dots, N_0\}$

#### Conjunto de Parámetros:

$F_l = \text{Frecuencia mínima de visita para el cliente } l, \text{ medida en días por periodo}$

$\gamma^s = \text{Número de días que conforman la programación } s$

$W_l^s =$  Demanda acumulada hasta cliente  $l$  en programación  $s$

$a_{sd} = \begin{cases} 1 & \text{, Si día } d \text{ pertenece a programación } s \\ 0 & \sim \end{cases}$

$Q =$  Conjunto de todas las combinaciones de rutas posibles ,  $Q = \{1, \dots, Q\}$

$C =$  Capacidad de cada supervisor, medida en programas por día

$t_{lm} =$  Tiempo de viaje de comuna  $l$  a comuna  $m$

$C_{lm} =$  Gasto de viaje de comuna  $l$  a comuna  $m$

$a_l^d =$  Inicio ventana de tiempo para cliente  $l$  en día  $d$

$b_l^d =$  Final ventana de tiempo para cliente  $l$  en día  $d$

$ct =$  Costo por hora recorrida

$ck =$  Costo fijo de utilizar vehículo  $k$  en la programación

$st_l =$  Tiempo de servicio en comuna  $l$



A continuación se procede a desarrollar el modelo descrito anteriormente.

### 4.3 Modelo 1: MDVRP: Ruteo de supervisores con múltiples comunas a visitar, asignación primaria<sup>1</sup>

#### Variables

$$Y_{iv} = \begin{cases} 1, & \text{Si el supervisor } v \text{ es asignado a la comuna } i \\ 0, & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$$X_{pv} = \begin{cases} 1, & \text{Si el supervisor } v \text{ es asignado a la comuna de residencia } p \\ 0, & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{Si la comuna } j \text{ es visitada despues de la comuna } i \\ 0, & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$$Y_v = \begin{cases} 1, & \text{Si el supervisor } v \text{ debe supervisar} \\ 0, & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$C_i$  = Costo acumulado hasta cliente  $i$ .

$CV_v$  = Costo total ruta de vehículo  $v$ .

$T_i$  = Tiempo acumulado hasta cliente  $i$ .

$TV_v$  = Tiempo total de ruta para vehículo  $v$ .

#### Parámetros

$c_{ij}$  = Costo unitario de ir desde  $i$  a  $j$ .

$c_v$  = Costo de usar el supervisor  $v$ .

$c_p$  = Costo de usar la comuna de residencia  $p$ .

$t_{ij}$  = Tiempo para ir de  $i$  a  $j$ .

$st_i$  = Tiempo de servicio en el nodo  $i$ .

$w_i$  = Demanda en el nodo  $i$ .

$q$  = Capacidad del supervisor para realizar la actividad.

$ct$  = Costo por hora de viaje.

---

<sup>1</sup> Entiéndase la definición de los siguientes conceptos:

- Vehículo = Supervisor
- Cliente = Comuna donde se ejecuta la actividad
- Depósito = Comuna de residencia donde vive el supervisor.

## Índices

$I = \text{Comunas por visistar (clientes)} \quad ; \quad i = 1, \dots, I;$

$V = \text{Supervisores (vehículos)} \quad ; \quad v = 1, \dots, V;$

$P = \text{Comunas de residencia (depósitos)} \quad ; \quad p = 1, \dots, P;$

### 4.3.1 Funciones Objetivos

$$(1) \text{ Min } F1 = \sum_{v \in V} \left[ c_v \sum_{p \in P} X_{pv} + ctTV_v + CV_v \right] + \sum_{p \in P} c_p * \max_{v \in V} \{X_{pv}\}$$

$$(2) \text{ Min } F2 = \max \left\{ \sum_{i \in I} w_i Y_{iv} \right\} - \min \left\{ \sum_{i \in I} w_i Y_{iv} + M - M * Y_v \right\}$$

### Restricciones

$$(3) \sum_{v \in V} Y_{iv} = 1, \quad \forall i \in I$$

$$(4) \sum_{p \in P} X_{pv} \leq 1, \quad \forall v \in V$$

$$(5) C_i \geq c_{pi}(X_{pv} + Y_{iv} - 1), \quad \forall i \in I, p \in P, v \in V$$

$$(6) \begin{aligned} C_j &\geq C_i + c_{ij} - M_c(1 - S_{ij}) - M_c(2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \\ C_i &\geq C_j + c_{ji} - M_c(S_{ij}) - M_c(2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \end{aligned}, \quad \forall i, j \in I, v \in V, i > j$$

$$(7) CV_v \geq C_i + c_{ip} - M_c(2 - X_{pv} - Y_{iv}), \quad \forall i \in I, p \in P, v \in V$$

$$(8) T_i \geq t_{pi}(X_{pv} + Y_{iv} - 1), \quad \forall i \in I, p \in P, v \in V$$

$$(9) \begin{aligned} T_j &\geq T_i + st_i + t_{ij} - M_t(1 - S_{ij}) - M_t(2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \\ T_i &\geq T_j + st_j + t_{ji} - M_t(S_{ij}) - M_t(2 - Y_{iv} - Y_{jv}) \end{aligned}, \quad \forall i, j \in I, v \in V, i > j$$

$$(10) TV_v \geq T_i + st_i + t_{ip} - M_t(2 - X_{pv} - Y_{iv}), \quad \forall i \in I, p \in P, v \in V$$

$$(11) \sum_{i \in I} w_i Y_{iv} \leq q \sum_{p \in P} X_{pv}, \quad \forall v \in V$$

$$(12) Y_v = \max_{i \in I} \{Y_{iv}\}, \quad \forall v \in V$$

### 4.3.2 Modelo 1: MDVRP: Descripción de la formulación Ruteo de vehículos con múltiples depósitos para asignación primaria

#### **Función Objetivo**

- (1) *Min F1* , busca minimizar la cantidad de supervisores y depósitos (comuna de residencia del supervisor) con el menor costo total de operación, definido por el costo de la asignación del supervisor, considerando sus costos de viaje (pasajes), tiempo y de ruta.
- (2) *Min F2*, es la función que representa el balanceo de carga, donde busca minimizar la diferencia entre la carga máxima y la carga mínima asignada a los vehículos (supervisores), asegurando que esta diferencia se efectúe con la carga asignada efectiva, descartando los supervisores que no fueron asignados en el modelo.

#### **Restricciones:**

- (3) Indica que cada cliente debe ser asignado a un único vehículo (supervisor).
- (4) Esta restricción garantiza que cada vehículo es asignado a máximo a un depósito (comuna de residencia del supervisor).
- (5) Garantiza que el costo acumulado de la ruta a cualquier nodo asignado a un vehículo (supervisor). sea mayor o igual al costo de la ruta del arco que conecta el depósito (comuna de residencia del supervisor) con el nodo respectivo.
- (6) Asegura que el costo de ruta acumulado hasta el nodo  $i$  no exceda el costo de la ruta acumulada hasta el otro nodo  $j$ , suponiendo que  $j$  se ejecuta después de  $i$ .
- (7) Esta restricción garantiza que el costo total de viaje de cada vehículo (supervisor) sea mayor o igual que el costo de ruta acumulado para cada cliente (comuna) asignado en la ruta.
- (8) Garantiza que el tiempo acumulado de la ruta a cualquier nodo asignado a un vehículo (supervisor) sea mayor o igual al tiempo de la ruta del arco que conecta el depósito (comuna de residencia del supervisor) con el nodo respectivo.
- (9) Asegura que el tiempo de ruta acumulado hasta el nodo  $i$  no exceda el tiempo de la ruta acumulada hasta el otro nodo  $j$ , suponiendo que  $j$  se ejecuta después de  $i$ .
- (10) Esta restricción garantiza que el tiempo total de viaje de cada vehículo (supervisor) sea mayor o igual que el tiempo de ruta acumulado para cada cliente (comuna) asignado en la ruta.
- (11) Garantiza que la carga asignada a cada vehículo (supervisor) no exceda su capacidad. Además relaciona las variables de las asignaciones tanto de los clientes (comuna) y depósitos (comuna de residencia del supervisor) de los distintos supervisores.
- (12) Esta restricción permite determinar si el vehículo  $v$  (supervisor) es asignado, maximizando  $Y_{iv}$ , de manera de ver si  $v$  es utilizado o no en la programación.

#### 4.4 Modelo 2: VRPTW: Ruteo de vehículos monodepósito, periódico, con ventanas de tiempo

##### Variables

$$Y_{lk}^s = \begin{cases} 1 & \text{Si el Vehículo } k \text{ atiende a cliente } l \text{ en programación } s \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$$X_{lmk}^d = \begin{cases} 1 & \text{Si el Vehículo } k \text{ va de cliente } l \text{ a } m \text{ durante el día } d \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$T_l^d$  = Tiempo acumulado hasta cliente  $l$  en día  $d$ .

$TV_k^d$  = Tiempo total de ruta para vehículo  $k$  en día  $d$ .

$C_l^d$  = Costo acumulado hasta cliente  $l$  en día  $d$ .

$CV_k^d$  = Costo total de ruta para vehículo  $k$  en día  $d$ .

$$Y_k = \begin{cases} 1 & \text{Si el Vehículo } k \text{ es usado en la programación} \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

Carga\_d= Carga de trabajo semanal (44 Hrs semanales).

##### Parámetros

$F_l$  = Frecuencia mínima de visita para el cliente  $l$  medida, en días por periodo.

$\gamma^s$  = Número de días para programación  $s$ .

$W_l^s$  = Demanda acumulada hasta cliente  $l$  en programación  $s$ .

$$a_{sd} = \begin{cases} 1 & \text{, Si día } d \text{ pertenece a programación } s \\ 0 & \text{En otro caso} \end{cases}$$

$Q$  = Todas las combinaciones posibles de ruta .

$C$  = Capacidad de cada vehículo.

$t_{lm}^d$  = Tiempo de viaje de  $l$  a  $m$  en día  $d$ .

$C_{lm}^d$  = Gasto de viaje de  $l$  a  $m$  en día  $d$ .

$a_l^d$  = Inicio ventana de tiempo para cliente  $l$  en día  $d$ .

$b_l^d$  = Final ventana de tiempo para cliente  $l$  en día  $d$ .

$ct$  = Costo por hora recorrida.

$ck$  = Costo fijo de utilizar vehículo  $k$  en la programación.

$st_l^d =$  Tiempo de servicio en cliente  $l$  para día  $d$ .

$bb_l^d = 1$  , si existe ventana de tiempo.

### Índices

$S =$  Programaciones.

$K =$  Vehículos (supervisores).

$D =$  Días.

$N =$  Clientes (comunas).

$N_0 =$  Clientes (comunas) + depósito (comunas de residencia del supervisor).

#### 4.4.1 Función Objetivo

$$(1) \text{ Min } F1 = \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} [c_t TV_k^d + CV_k^d] + \sum_{k \in K} c_k * \max_{l \in N} \{Y_{lk}^s\}_{s \in S}$$

$$(2) \text{ Min } F2 = \max_{k \in K} \left\{ \sum_{l \in N} \sum_{s \in S} W_l^s Y_{lk}^s \gamma^s \right\} - \min_{k \in K} \left\{ \sum_{l \in N} \sum_{s \in S} W_l^s Y_{lk}^s \gamma^s + M_a - M_a * Y_k \right\} + M_a * CS$$

### Restricciones

$$(3) \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \gamma^s Y_{lk}^s \geq F_l, \quad \forall l \in N_0$$

$$(4) \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} Y_{lk}^s \leq 1, \quad \forall l \in N_0$$

$$(5) \sum_{l \in N} \sum_{s \in S} W_l^s a_{sd} Y_{lk}^s \leq C, \quad \forall k \in K, d \in D$$

$$(6) \sum_{m \in N_0} X_{lmk}^d = \sum_{s \in S} a_{sd} Y_{lk}^s, \quad \forall l \in N, k \in K, d \in D$$

$$(7) \sum_{m \in N_0} X_{lmk}^d = \sum_{m \in N_0} X_{mlk}^d, \quad \forall l \in N_0, k \in K, d \in D$$

$$(8) \sum_{l, m \in Q} X_{lmk}^d = |Q| - 1, \quad \forall Q \subseteq N, k \in K, d \in D$$

- (9)  $T_l^d \geq t_{0l} Y_{lk}^s a_{sd}$  ,  $\forall l \in N, k \in K, d \in D, s \in S$
- (10)  $T_l^d \geq T_m^d + st_m^d + t_{ml}^d - M_t(1 - X_{mlk}^d) - M_t(2 - (Y_{lk}^s + Y_{mk}^s))a_{sd}$   
 $T_m^d \geq T_l^d + st_l^d + t_{lm}^d - M_t(1 - X_{lmk}^d) - M_t(2 - (Y_{lk}^s + Y_{mk}^s))a_{sd}$   
 $\forall (l, m) \in N, k \in K, d \in D, s \in S, l > m$
- (11)  $TV_k^d \geq T_l^d + st_l + a_s^d Y_{0k}^s st_0 + t_{l0} - M_t(1 - Y_{lk}^s a_{sd} bb_l^d)$  ,  $\forall l \in N, k \in K, d \in D, s \in S$
- (12)  $X_{lmk}^d (T_l^d + st_l^d + t_{ml}^d + t_m^d) \leq 0$  ,  $\forall (l, m) \in N, k \in K, d \in D, l \neq m$
- (13)  $a_l^d \leq T_l^d \leq b_l^d$   $\forall l \in N, d \in D$
- (14)  $C_l^d \geq C_{0l}^d + Y_{lk}^s a_{sd}$  ,  $\forall l \in N, k \in K, d \in D, s \in S$
- (15)  $C_l^d \geq C_m^d + C_{ml} - M_c(1 - X_{mlk}^d) - M_c(2 - (Y_{lk}^s + Y_{mk}^s) * a_{sd})$  ,  $\forall (l, m) \in N, k \in K, d \in D, s \in S, l > m$   
 $C_m^d \geq C_l^d + C_{lm} - M_c(1 - X_{lmk}^d) - M_c(2 - (Y_{lk}^s + Y_{mk}^s) * a_{sd})$
- (16)  $CV_k^d \geq C_l^d + c_{l0} - M_c(1 - Y_{lk}^s * a_{sd} * bb_l^d)$  ,  $\forall l \in N, k \in K, d \in D, s \in S$
- (17)  $Y_k = \max\{Y_{lk}^s\}$  ,  $\forall k \in K$
- (18)  $MAX_{TV_d} = \max_k TV_k^d$  ,  $\forall d \in D$
- (19)  $MIN_{TV_d} = \min_k \left( T_l^d + M_a - M_a \sum_{m,k} X_{mlk}^d \right)$  ,  $\forall d \in D$
- (20)  $MAX_{TV_d} - MIN_{TV_d} \leq Carga_d$  ,  $\forall d \in D$
- (21)  $\sum_d MAX_{TV_d} - MIN_{TV_d} \leq Carga_s$
- (22)  $a_{od} * \sum_s y_{0k}^s a_s^d \leq TV_k^d - st_0 * \sum_s y_{0k}^s a_s^d$  ,  $\forall k, d$
- (23)  $\sum_{k,s} y_{lk}^s a_s^d = bb_l^d + h_l^d$  ,  $\forall l, d$
- (24)  $\sum_l x_{l0k}^d \leq 1$  ;  $\forall k, d$
- (25)  $x_{lmk}^d + x_{mlk}^d \leq 1$  ,  $\forall , m, k, d; l > m$

#### 4.4.2 Modelo 2: VRPTW: Descripción de la formulación Ruteo de vehículos monodepósito, periódico, con ventanas de tiempo

##### **Función Objetivo**

- (1) *Min F1* , Minimizar el costo total considerando tanto los tiempos, costos de ruta como también los costos fijos de utilización del vehículo, asignando la cantidad de programas a supervisar dada una programación determinada.
- (2) *Min F2*, Minimiza la diferencia entre las cargas de trabajo del mayor supervisor con asignación programada dado al número de días en un periodo determinado menos el supervisor con la mínima cantidad efectiva de programas asignadas, excluyendo a los supervisores que no fueron asignados

##### **Restricciones**

- (3) Asegura que la cantidad de vehículos (supervisores) asignados al cliente (comuna)  $l$  sea mayor o igual a la frecuencia mínima de visitas del mismo cliente (comuna).
- (4) Establece que para cada programa se le asignará un vehículo (supervisor) para supervisarlos, dado el periodo de programación
- (5) Esta restricción asegura que la capacidad programada para el periodo de cada vehículo (supervisor) no exceda su propia capacidad del día.
- (6) Vincular las variables  $x$  e  $y$  para los nodos de demanda, es decir las rutas programadas y las supervisiones atendidas para la ruta asignada
- (7) Asegura la conservación del flujo en cada nodo, permitiendo establecer criterios de recorrido, determinando que la distancia entre nodos es la misma de ir de  $l$  a  $m$  que de  $m$  a  $l$
- (8) Permite asignar todas las combinaciones posibles de ruta de un vehículo (supervisor), permitiendo la eliminación de sub-rutas
- (9) Esta restricción establece que el tiempo acumulado hasta el cliente (comuna)  $l$  en el día  $d$  sea mayor o igual al tiempo acumulado desde el depósito (comuna de residencia del supervisor) hasta el cliente (comuna)  $l$  en el día  $d$ .
- (10) Establece que el tiempo acumulado para un cliente (comuna)  $l$  y un cliente (comuna)  $m$  en las visitas en una misma ruta, suponiendo que se visita primero  $l$  y luego  $m$ , el tiempo acumulado debe ser mayor o igual para  $m$  con respecto a  $l$ .

- (11) El tiempo total del recorrido de un vehículo (supervisor) debe ser mayor o igual al tiempo de viaje desde cualquier otro cliente (comuna) en la misma ruta.
- (12) Esta restricción permite el cumplimiento de las ventanas de tiempo, garantizando que la labor de supervisión se realizará dentro de la hora establecida.
- (13) Esta restricción indica que el tiempo acumulado hasta el cliente (comuna)  $l$  en el día  $d$  debe estar dentro de las ventanas de tiempo en que son asignados los programas, excluyendo los tiempos que no cumplan con los rangos horarios disponibles para las visitas.
- (14) Esta restricción establece que el costo acumulado hasta el cliente (comuna)  $l$  en el día  $d$  sea mayor o igual al costo de la ruta programada, incluyendo el costo inicial.
- (15) Establece que el costo acumulado para un cliente (comuna)  $l$  y un cliente (comuna)  $m$  en las visitas en una misma ruta, suponiendo que se visita primero  $l$  y luego  $m$ , el costo acumulado debe ser mayor o igual para  $m$  con respecto a  $l$ .
- (16) El costo total del recorrido de un vehículo (supervisor) debe ser mayor o igual al costo de viaje desde cualquier otro cliente (comuna) en la misma ruta.
- (17) Esta restricción permite determinar si el vehículo (supervisor)  $k$  es asignado, maximizando la variable  $Y_{lk}^S$  de manera de ver si  $k$  es utilizado o no en la programación  $s$ .
- (18) Calcula el máximo tiempo de ruta para el supervisor (auto) en un día
- (19) Calcula el mínimo tiempo de ruta para el supervisor (auto) en un día
- (20) Esta restricción asegura que cumpla con la carga diaria de trabajo de cada supervisor, considerando las leyes laborales y políticas organizacionales
- (21) Esta restricción asegura que cumpla con la carga semanal de trabajo de cada supervisor, considerando las leyes laborales y políticas organizacionales
- (22) Esta restricción asegura que se visita el deposito en la última etapa de la ruta, cumpliendo con su ventana de tiempo respectiva
- (23) Esta restricción establece que si existe ventana de tiempo, entonces se debe visitar.
- (24) y (25) Restricción que asegura consistencia de la ruta.

#### 4.5 Instancias y Propuestas de Solución

Para el desarrollo del modelo, se programa en el software de optimización GAMS, versión 24.4.6, 64 bits con solver CPLEX versión 12.5, 32 bits en un ordenador con las siguientes características:

- Procesador: Intel Core I7, 3.4 GHz
- Memoria RAM: 16 Ghz
- Sistema Operativo: Windows 7, 64 bits

Considerando que el modelo es un problema de optimización entero mixto y que el estudio nace de un problema real, se aborda desglosando la región en provincias, generándose con ello 4 instancias de solución, que formarán entre sí el resultado regional. En virtud a lo anterior, el programa debe explorar matrices descritas en los apartados anteriores, por ende los tiempos computacionales de resolución entre ellas, no serán los mismos.

Tanto el modelo1 MDVRP, como el modelo 2 VRPTW tienen modalidad *Backward*, pues permite determinar tanto el número de depósitos (residencia de los supervisores) como el número de supervisores necesarios para cubrir con toda las actividades deportivas que se ejecutan en la región al mínimo costo y con cargas de trabajo balanceadas en función al cumplimiento de las leyes laborales y políticas organizacionales. Además, presentan modalidad *Forward*, ya que dada una plantilla, es posible optimizarla y determinar por tanto, la mejor distribución de supervisores posibles. En este caso, en ambos modelos, se ejecuta bajo la modalidad *Backward*.

## CAPITULO 5: ANALISIS Y RESULTADOS

En virtud a los antecedentes señalados en los capítulos anteriores, para desarrollar y encontrar resultados consistentes en términos computacionales aceptables, el problema se dividió en dos sub-problemas que operan de forma secuencial, considerando para ello una serie de parámetros estandarizados para cada provincia, de manera de facilitar la programación y lectura de datos.

### 5.1. Resultados Modelo 1 (MDVRP)

En base a lo anterior, para el modelo 1 (MDVRP) de asignación primaria se utilizaron, como aparece en el Cuadro 20, los principales insumos que fueron utilizados como entrada para ejecutar el modelo propuesto. Estos datos corresponden a datos reales cuantificados en planillas de cálculo de manera de facilitar la lectura de datos; donde cada provincia presenta distintas dimensiones respecto a la cantidad de parámetros, siendo la provincia de Ñuble quien es la que presenta la mayor cantidad de datos a procesar, dado que es la provincia con mayor cantidad de comunas que presenta la región.

A continuación en el Cuadro 20, se presenta las dimensiones de datos asociados a cada provincia que se ejecutará el programa, considerando los principales parámetros asociados al problema.

Parámetros de entrada	Descripción	Dimensiones de Matrices			
		Arauco	Biobío	Ñuble	Concepción
Costos de Transporte (\$)	Corresponde a una matriz que cuantifica los costos de pasajes del transporte público.	7x7	14x14	21x21	12x12
Tiempo de trayecto (min)	Matriz que detalla los tiempos promedios de viaje entre comunas.	7x7	14x14	21x21	12x12
Demandas	Cantidad de programas deportivos que se debe supervisar.	7x2	14x2	21x2	12x2
Tiempo de atención (min)	Corresponde al tiempo en que el supervisor se demora en supervisar la actividad.	7x2	14x2	21x2	12x2
Frecuencia de visita	Corresponde a la frecuencia mínima que debe fiscalizar el supervisor.	7x2	14x2	21x2	12x2

Cuadro 20: Detalle de insumos para desarrollar modelo N°1

Del cuadro anterior y ejecutando el modelo 1(MDVRP) el programa entrega las siguientes salidas según lo que muestra el Cuadro 21 donde ilustra un resumen de los principales resultados generales que entrega el solver. Principalmente se observa que mayor tiempo de resolución fue para la provincia de Biobío con 2.064 segundos de procesamiento. Esto se debe principalmente a que, por las condiciones geográficas propias de esta provincia hace que tanto los tiempos extensos de viaje, como también la oferta de los distintos programas deportivos distribuido en todas las comunas, resultó que el programa realizara una alta cantidad de iteraciones para lograr el óptimo. Le sigue la provincia de Ñuble que obtuvo en 848,38 segundos el valor óptimo.

	Provincia de Arauco	Provincia de Biobío	Provincia de Ñuble	Provincia de Concepción
Función Obj.	2.018.396	3.033.256	3.061.396	4.025.854
Gap	0,009109	0,0340345	0,026584	0,006420
T. Ejecución (s)	1,64	2.064	848,38	6,10
Nº Iteraciones	16.233	4.587.589	649.327	35.049
Nodo Final	1.564	184.656	23.059	1.110

Cuadro 21: Resultados generales de las instancias del modelo 1 (MDVRP)

### 5.1.2 Definición de depósitos

Analizado los resultados para cada instancia, se observa que para la región de las 54 comunas, se seleccionó 12 depósitos (comuna de residencia de los supervisores) cubriendo con ello un 22,2% las comunas de la región.

La provincia que presentó la mayor cantidad de depósitos (comuna de residencia de los supervisores) fue la provincia de Concepción con 4 depósitos, concentrándose principalmente en las comunas de San Pedro de la Paz y Concepción, tal como lo muestra en el Cuadro 22 que se presenta a continuación:

Provincia	Cantidad de Comunas	Cantidad de Depósitos	%
Concepción	12	4	33,3%
Arauco	7	2	28,6%
Biobío	14	3	21,4%
Ñuble	21	3	14,3%
Total	54	12	22,2%

Cuadro 22: Resultados porcentual depósitos por provincia

Además, como se observa en el Cuadro 22, la provincia de Ñuble requiere menos supervisores que la provincia de Concepción a pesar de presentar una mayor cantidad de comunas

El programa determinó además la ubicación (comuna) donde se deberían contratar a los supervisores para optimizar los tiempos y costos del servicio, como se observa en el Cuadro 23:

Provincia	Depósito
Arauco	Contulmo Los Álamos
Biobío	Antuco Mulchén Nacimiento
Concepción	Concepción Concepción San Pedro de la Paz San Pedro de la Paz
Ñuble	Yungay San Nicolás Ránquil

Cuadro 23: Detalle depósitos por provincia

Como se observa en Cuadro 23, para la provincia de Arauco, se deberán contratar supervisores en las comunas de Contulmo y Los Álamos.

Particularmente, la provincia de Concepción el programa establece que dos depósitos deben ser en la comuna de Concepción y los otros dos en la Comuna de San Pedro de la Paz.

### 5.1.2 Asignación de comunas a cada depósito

En base a estos resultados y en función a lo programado, el modelo asignó las comunas asociadas para cada depósito de manera de obtener la distribución más equilibrada posible en función a la cantidad de programas deportivos. A continuación, en el Cuadro 24 se presentan las comunas asignadas a supervisar por depósito.

Provincia	Depósito	Comunas	Provincia	Depósito	Comunas		
Arauco	Contulmo	Contulmo	Concepción	Concepción	Concepción		
		Cañete			San Pedro de la Paz		
		Tirúa			Lota		
	Los Álamos	Arauco			Hualpén		
		Curanilahue			Concepción		
		Los Álamos			Santa Juana		
Ñuble	Yungay	Lebu			San Pedro de la Paz	San Pedro de la Paz	Talcahuano
		Ñiquén					Chiguayante
		Chillán					Hualqui
		Yungay	San Pedro de la Paz				
		Ninhue	Tome				
		El Carmen	Penco				
	San Nicolás	Pemuco	Florida	San Pedro de la Paz	Coronel	Florida	
		Quirihue					
		Cobquecura					
		San Nicolás					
		Ránquil					
	Ránquil	Ránquil	Bulnes	Antuco	Mulchen	Antuco	
			Coelemu			Quilleco	
			Trehuaco			Tucapel	
			Portezuelo			San Rosendo	
			Quillón			Laja	
			Yungay			Yumbel	
			San Ignacio			Cabrero	
			Ránquil			Alto Biobío	
			Pinto			Mulchen	
			Coihueco			Santa Bárbara	
Chillán Viejo			Quilaco				
San Fabián			Nacimiento				
San Carlos			Nacimiento				
San Nicolás			Los Ángeles				
	Negrete						

Cuadro 24: Comunas asignadas a los depósitos

El Cuadro 24, muestra las comunas que se asignaron a cada depósito, siendo esta asignación desde 2 a 9 comunas por cada depósito, como por ejemplo el depósito de Concepción tiene asignado Concepción y Santa Juana y por otro los depósitos de San Nicolás y Ránquil que tienen 9 comunas asociadas. Además, como se observa, el modelo permite que un supervisor que tiene un depósito determinado, pueda visitar un producto que pertenezca a una comuna donde se encuentre un depósito, como es el caso de la provincia de Ñuble, donde el supervisor que vive en la comuna de San Nicolás, visita los programas determinados en su comuna, como también supervisa algunos

programas de un supervisor que tiene residencia en la comuna de Ránquil, de igual forma ocurre con San Nicolás. Por otra parte, en la provincia de Concepción, se generaron 2 depósitos en la misma comuna, esto indica que por la cantidad de programas y la distribución geográfica de esta comuna, conviene contratar a estos supervisores en las comunas de Concepción y San Pedro de la Paz, donde en este caso, al igual que ocurre con los depósitos de Ránquil y San Nicolás, estos tienen pueden supervisar programas en apoyo a comunas de otros depósitos.

En virtud a lo definido en el primer modelo y una vez establecida claramente la cantidad de depósitos o comunas donde se deben contratar a los supervisores y la asignación de comunas asociada a cada depósito, se procede a mostrar los resultados del modelo 2 (VRPTW), que permitirá por una parte determinar la cantidad de supervisores que se debe contratar por depósito y a su vez generar y calcular las rutas programáticas para cada de la semana, de manera de cubrir con el 100% de los programas en ejecución.

## 5.2. Resultados Modelo 2 (VRPTW)

Para obtener el resultado del modelo 2, se redistribuyeron las planillas de datos en función a las salidas del modelo 1(MDVRP), incorporando además los datos de las ventanas de tiempo asociada a cada programa y a su vez una matriz de programaciones, de manera que el modelo pueda seleccionar una programación que se encuentre relacionada a las actividades deportivas que se ejecutan en una comuna determinada durante la semana, generándose con ello 12 instancias con diferentes dimensiones, tal como se describe en el Cuadro 25 que se describe a continuación:

Provincia	Depósito	Dimensiones de Matrices					Programaciones
		Costo Transporte	Tiempo Trayecto	Ventana Inicio	Ventana Término	Tiempo Visita	
Arauco	Contulmo	3x3	3x3	3x5	3x5	3x2	5x7
	Los Álamos	4x4	4x4	4x5	4x5	4x2	5x7
Biobío	Antuco	7x7	7x7	7x5	7x5	7x2	5x7
	Mulchén	4x4	4x4	4x5	4x5	4x2	5x7
	Nacimiento	3x3	3x3	3x5	3x5	3x2	5x7
Concepción	Concepción	4x4	4x4	4x5	4x5	4x2	5x7
	Concepción	2x2	2x2	2x5	2x5	2x2	5x7
	San Pedro de la Paz	4x4	4x4	4x5	4x5	4x2	5x7
Ñuble	San Pedro de la Paz	5x5	5x5	5x5	5x5	5x2	5x7
	Yungay	6x6	6x6	6x5	6x5	6x2	5x7
Ránquil	San Nicolás	9x9	9x9	9x5	9x5	9x2	5x7
	Ránquil	9x9	9x9	9x5	9x5	9x2	5x7

Cuadro 25: Dimensiones de las matrices asociadas a cada depósito

Del cuadro anterior y ejecutando el modelo 2 (VRPTW) el programa entrega las siguientes salidas según lo indica el Cuadro 26:

Provincia	Depósito	Función objetivo	Gap	Tiempo ejecución (s)	N° iteraciones	Nodo final
Arauco	Contulmo	11.986.661	0,004868	0,28	4.624	104
	Los Álamos	14.052.508	0,093481	0,06	6.605	64
Biobío	Antuco	21.093.395	0,1467	1.000,01	4.596.687	81.170
	Mulchén	11.883.630	0,093693	0,87	5.592	69
	Nacimiento	8.999.450	0,013941	0,67	7.089	165
Concepción	Concepción 1	9.235.437	0,000006	3,37	26.545	2.142
	Concepción 2	1.168.400	0,00000	0,17	658	4
	San Pedro 1	8.934.597	0,098453	1,17	7.137	222
	San Pedro 2	12.616.990	0,099981	55,71	294.172	12.015
Ñuble	Yungay	19.308.494	0,00001	90,14	528.122	23.822
	San Nicolás	19.518.332	0,103666	2.230,8	6.353.656	161.578
	Ránquil	24.450.141	0,099983	780,16	2.568.539	34.747

Cuadro 26: Resultados instancias modelo 2 (VRPTW)

En el cuadro 26 se observa que en las 12 instancias, el tiempo de ejecución fue relativamente rápido (siendo menor a 90,14 segundos), salvo en los depósitos de San Nicolás, Antuco y Ránquil, donde tuvieron un alto número de iteraciones. Esto se entiende, ya que en la realidad, por las condiciones geográficas y por la cantidad de programas deportivos distribuidos en estas comunas, es altamente complejo poder realizar las supervisiones, ya que como no existe una correcta programación, no se pueden supervisar en su totalidad y además se debe considerar que en general, la ejecución de las actividades deportivas, se realizan en zonas rurales lo que dificulta el acceso.

### 5.2.1 Definición Cantidad de Supervisores

En función a los resultados entregados en la programación del modelo 2, propone que deben contratarse 34 supervisores distribuidos por toda la región, contratado bajo la modalidad de horas a diferencia de jornadas de trabajos que el servicio contrata actualmente.

La cantidad de supervisores que se deben contratar por depósitos se resume en el cuadro N° 27 que se presenta a continuación:

Provincia	Cantidad de Supervisores	%
Arauco	5	15%
Biobío	7	21%
Concepción	10	29%
Ñuble	12	35%
Total	34	100%

Cuadro 27: Cantidad de Supervisores a Contratar por Provincia

Como se observa en el cuadro anterior, el 35% del total de supervisores que se deben contratar, corresponden a la provincia de Ñuble, a pesar de ser la segunda provincia con mayor cantidad de programas deportivos. Lo anterior, se debe a que esta provincia es la que posee la mayor cantidad de comunas y por ende posee una mayor combinación de rutas posibles para lograr supervisar todos los programas deportivos.

Por otra parte, la provincia que tiene la mayor cantidad de programas deportivos es Concepción y esta provincia, según el programa, debe contratarse al 29% del total de supervisores a contratar

El detalle de los supervisores por depósito de cada provincia que se deben contratar para cubrir con toda la demanda de programas deportivos, se observa en el cuadro siguiente:

Provincia	Depósito	N° Supervisor	Comunas	Horas Semanales	Cant. Total Prog. Superv.	
Arauco	Contulmo	1	Contulmo	19	26	
		2	Cañete			
	Los Álamos	1	Tirua	26	12	
		2	Arauco	21	6	
		3	Curanilahue	13	10	
			Los Álamos	14	16	
			Lebu			
Biobío	Antuco	1	Antuco	34	15	
			Quilleco			
			Tucapel			
			2	San Rosendo	40	12
				Laja		
			3	Yumbel	44	15
				Cabrero		
	Mulchen	1	Alto Biobío	25	4	
		2	Mulchén	17	19	
				Santa Bárbara		
			Quilaco			
Nacimiento	1		Nacimiento	18	32	
			Los Ángeles			
		2	Negrete	8	5	
Concepción	Concepción 1	1	Concepción	10	20	
			San Pedro de la Paz			
			Lota	15	14	
			3	Hualpén	13	12
	Concepción 2	1	Concepción	43	22	
			Santa Juana			
	San Pedro de la Paz 1	1	San Pedro de la Paz	10	24	
			Talcahuano			
		2	Chiguayante	14	14	
			3	Hualqui	10	8
	San Pedro de la Paz 2	1	Tomé	21	20	
			Penco			
		2	Florida	24	17	
		San Pedro de la Paz				
		3	Coronel	13	21	
Ñuble	Yungay	1	Ñiquén	37	5	
		2	Chillan	29	25	
		3	Yungay	33	8	
			Ninhue			
			4	El Carmen	18	13
				Pemuco		
	San Nicolás	1	Quirihue	30	13	
			Cobquecura			
		2	San Nicolás	33	13	
			Ranquil			
				Bulnes		
			3	Coelemu	34	11
				Trehuaco		
			4	Portezuelo	29	14
				Quillón		
	Ranquil	1	Yungay	34	10	
			San Ignacio			
2		Ranquil	40	17		
		Pinto				
			Coihueco			
		3	Chillan Viejo	43	10	
			San Fabián			
		4	San Carlos	40	10	
			San Nicolás			

Cuadro 28: Resultados Cantidad de Supervisores a Contratar por depósito

Tal como se observa en el Cuadro 28, para todos los depósitos distribuidos en la región, estos se encuentran bien distribuidos, teniendo por lo menos 2 supervisores por cada depósito. Del Cuadro 28 se desprende de la siguiente manera:

- La primera columna indica las provincias de la región en estudio,
- La segunda columna detalla la comuna de residencia del supervisor perteneciente a la provincia;
- La tercera columna indica el número de supervisor por depósito
- La cuarta columna le asocia el número del supervisor a la comuna que debe supervisar, es decir como ejemplo, en la provincia de Arauco, para el depósito de Contulmo, se requieren contratar 2 supervisores, donde el primero se le asigna las comunas de Contulmo y Cañete y el segundo, la comuna de Tirúa.
- La quinta columna indica las horas totales en que se debe contratar a un supervisor semanalmente
- La sexta columna indica la cantidad total de programas deportivos que debe supervisar semanalmente

Además el programa, entrega un dato muy relevante, que corresponde a las horas semanales que se debe asignar a cada supervisor para poder supervisar todo los programas deportivos asignados. De esta forma, se puede realizar contratos que actualmente no se efectúan para supervisores, pues la forma mediante la cual se procede es a través del contrato de jornadas laborales (jornadas completas, medias, un cuarto) mejorando y transparentando la carga de trabajo de cada supervisor. En consecuencia, existen supervisores que se pueden contratar desde 4 horas, hasta 32 horas semanales, respetando así las leyes laborales y políticas organizacionales.

### 5.2.2 Definición de rutas para cada supervisor

Una vez definida la cantidad de supervisores que se deben contratar por depósito, el modelo 2 además permite definir las rutas semanales para garantizar el 100% de supervisiones a los programas deportivos.

Actualmente, los mismos supervisores elaboran sus propias rutas semanales, generando con ello que no se cumpla con el 100% de las supervisiones.

Cada comuna tiene distribuida una cantidad determinada de programas deportivos ejecutadas semanalmente y cada supervisor tiene asignada una cantidad de programas deportivos y las comunas asociadas a supervisar, garantizando que este sea una ruta al mínimo costo y balanceada en términos laborales.

Es así que en las láminas siguientes se detallará las rutas semanales correspondientes de cada provincia, donde cada día la ruta de cada supervisor puede variar dependiendo del horario de ejecución de la actividad o si la actividad se realiza o no en ese día.

Cabe recordar que  $k_i$  corresponde a los supervisores contratados que dependen de un depósito o lugar de residencia del supervisor y  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna  $l$  en día  $d$ .

### 5.2.2.i Definición de rutas Provincia de Arauco

#### Provincia Arauco, Deposito Contulmo

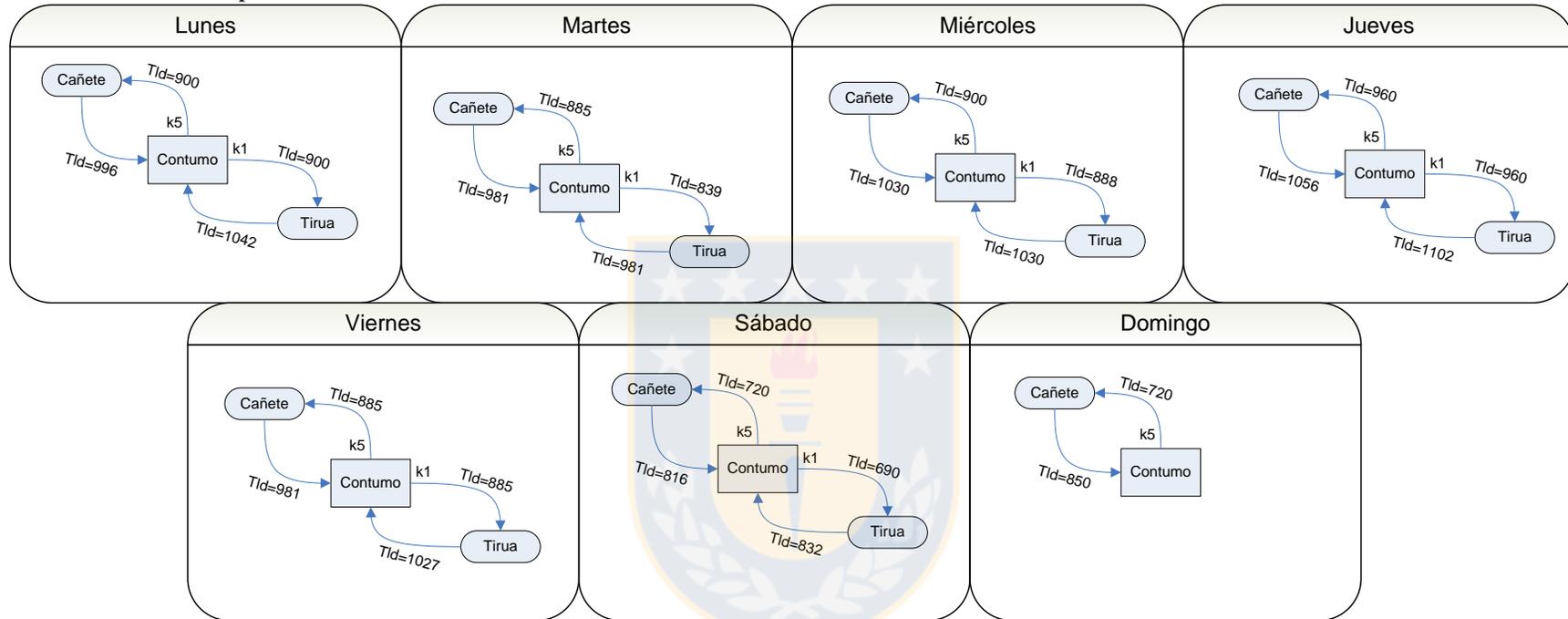


Figura 4: Ruta semanal de los supervisores k1 y k5 que dependen del depósito de la comuna de Contulmo de la provincia de Arauco

Como se observa en la figura 4, el depósito de Contulmo se les asignaron 2 supervisores (k1 y k5), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso el supervisor k1 supervisa los programas deportivos que se encuentran en el depósito. El  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

Provincia Arauco, Deposito Los Álamos

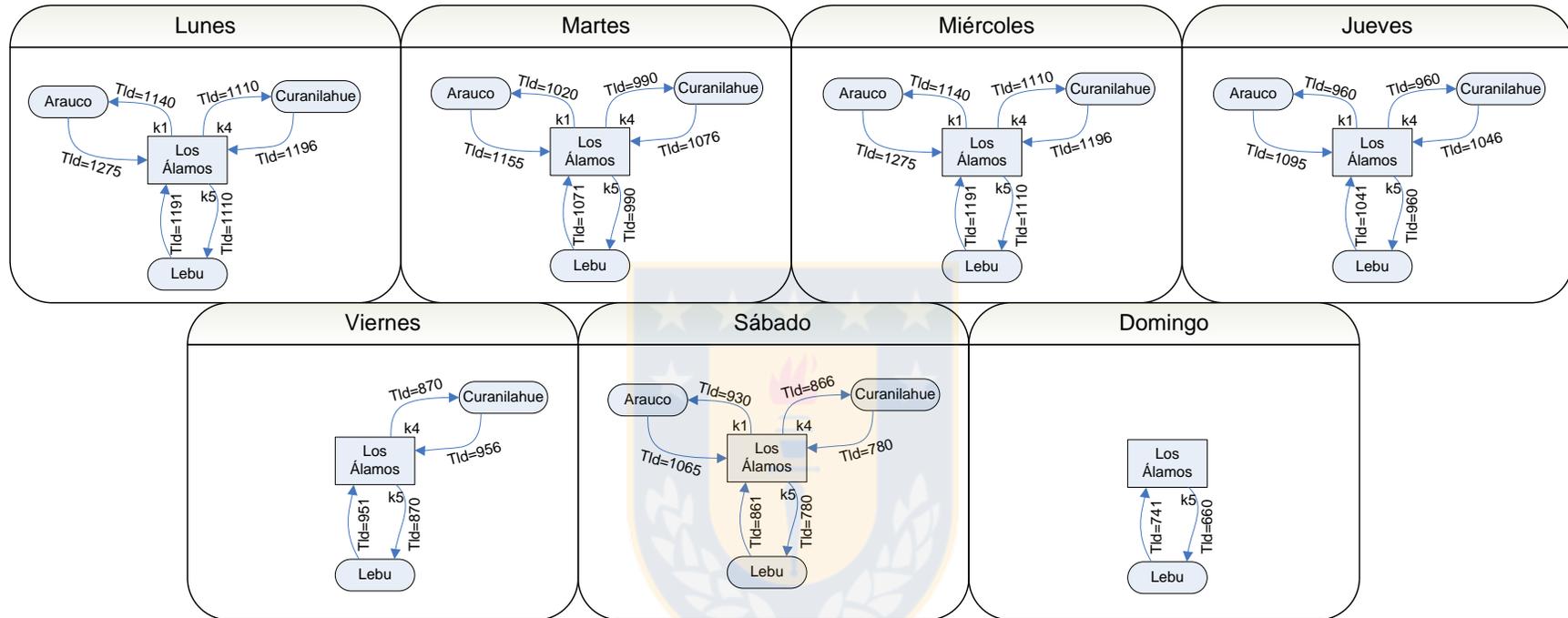


Figura 5: Ruta semanal de los supervisores k1, k4 y k5 que dependen del depósito de la comuna de Los Álamos de la provincia de Arauco

Como se observa en la figura 5, el depósito de Los Álamos se les asignaron 3 supervisores (k1, k4 y k5), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso el supervisor k3 supervisa los programas deportivos que se encuentran en el depósito. El  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

### 5.2.2.ii Definición de rutas Provincia de Biobío

Provincia Biobío, depósito Antuco

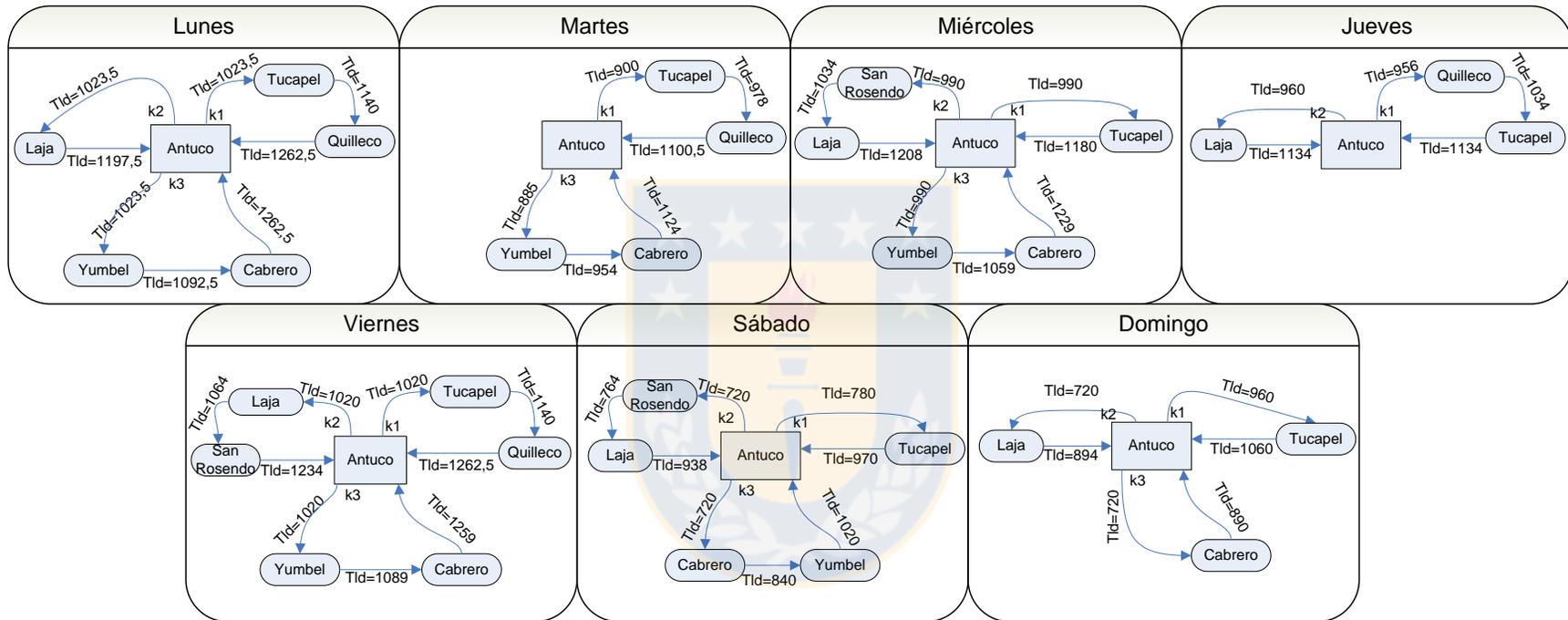


Figura 6: Ruta semanal de los supervisores k1, k2 y k3 que dependen del depósito de la comuna de Antuco de la provincia de Biobío

Como se observa en la figura 6, el depósito de Antuco se les asignaron 3 supervisores (k1, k2 y k3), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso el supervisor k1 supervisa los programas deportivos que se encuentran en el depósito. El  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

### 5.2.2.ii Definición de rutas Provincia de Biobío

Provincia Biobío, depósito Mulchén

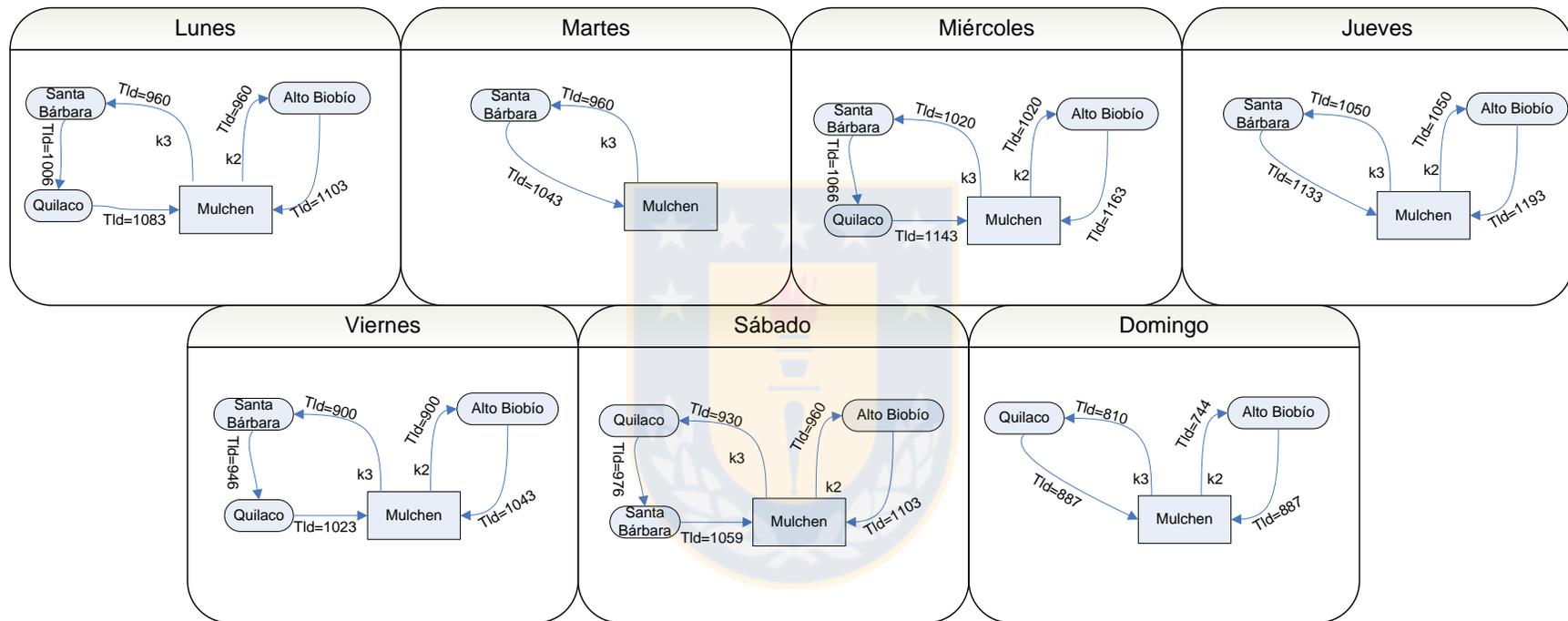


Figura 7: Ruta semanal de los supervisores k2 y k3 que dependen del depósito de la comuna de Mulchén de la provincia de Biobío

Como se observa en la figura 7, el depósito de Mulchen se les asignaron 2 supervisores (k2 y k3), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k3 supervisa los programas deportivos que se encuentran en el depósito. El  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna  $l$  en día  $d$ , por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

Provincia Biobío, depósito Nacimiento

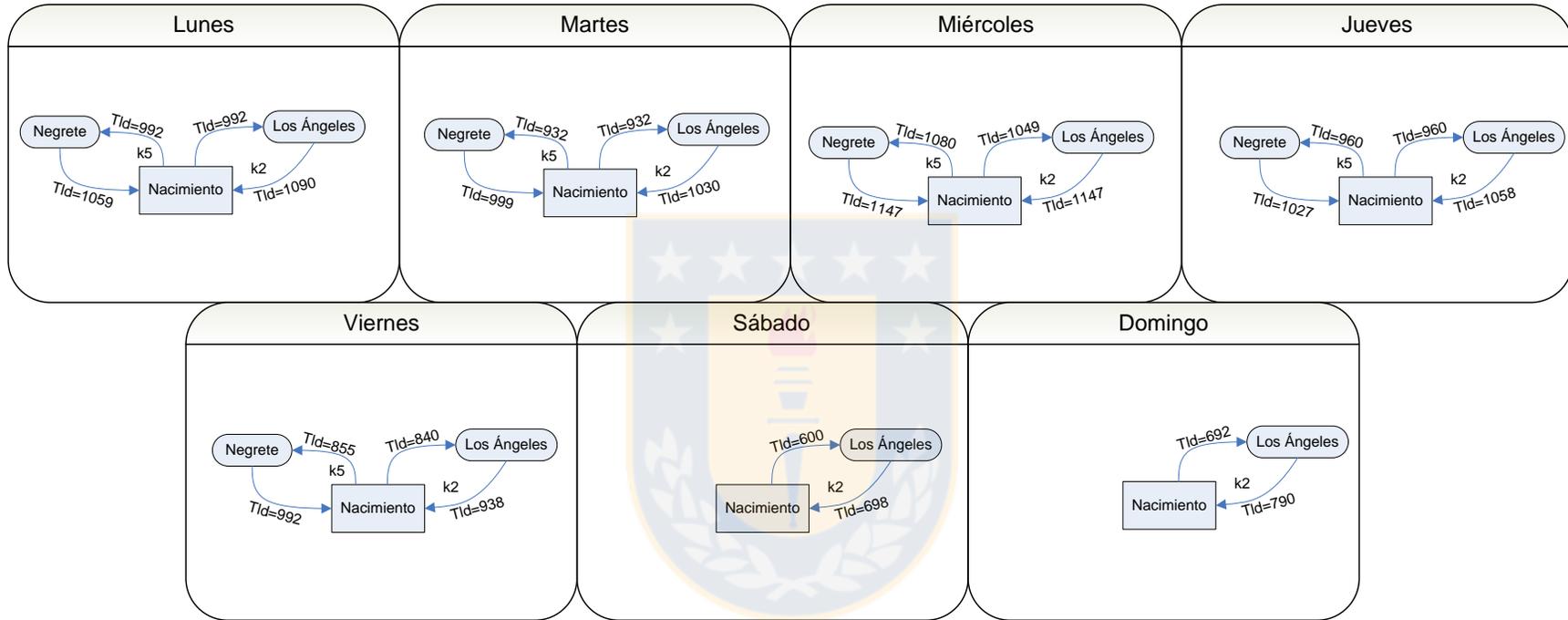


Figura 8: Ruta semanal de los supervisores k2 y k5 que dependen del depósito de la comuna de Nacimiento de la provincia de Biobío

Como se observa en la figura 8, el depósito de Nacimiento se les asignaron 2 supervisores (k2 y k5), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k1 supervisa los programas deportivos que se encuentran en el depósito. El  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

### 5.2.2.iii Definición de rutas Provincia de Concepción

Provincia Concepción, depósito Concepción

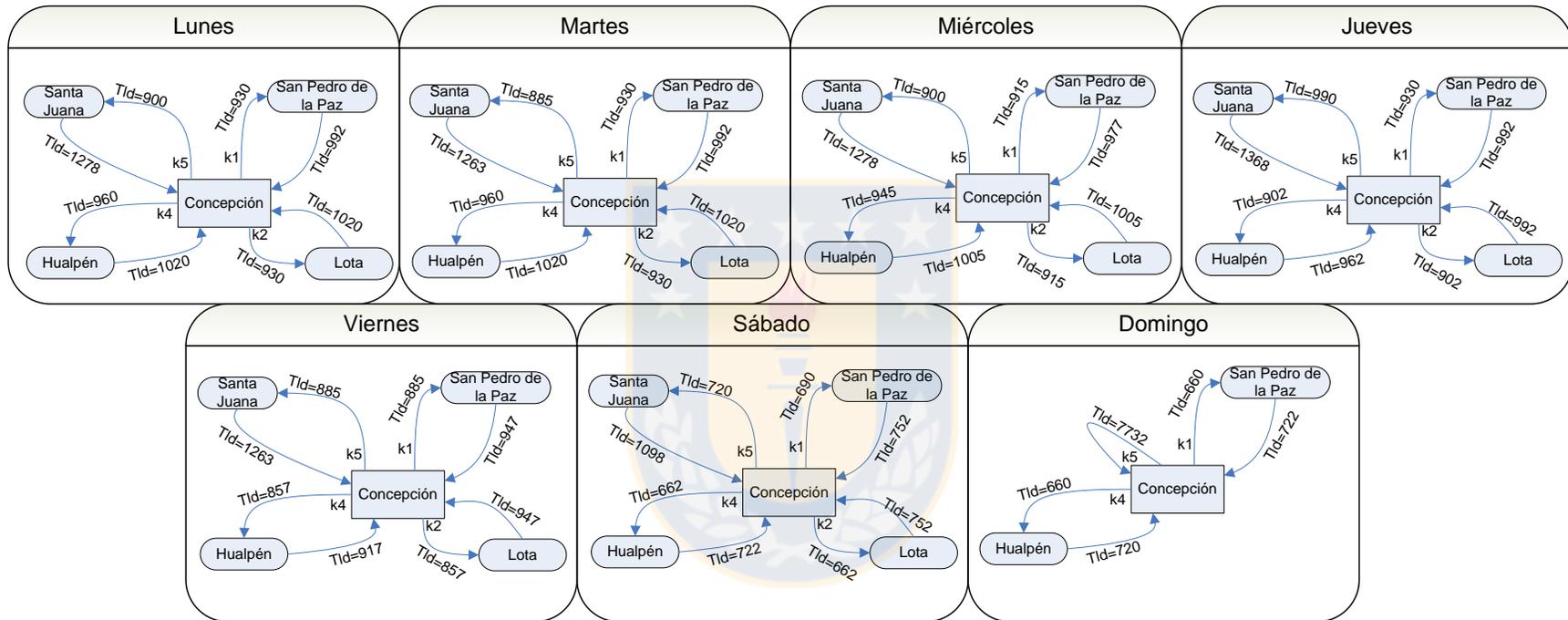
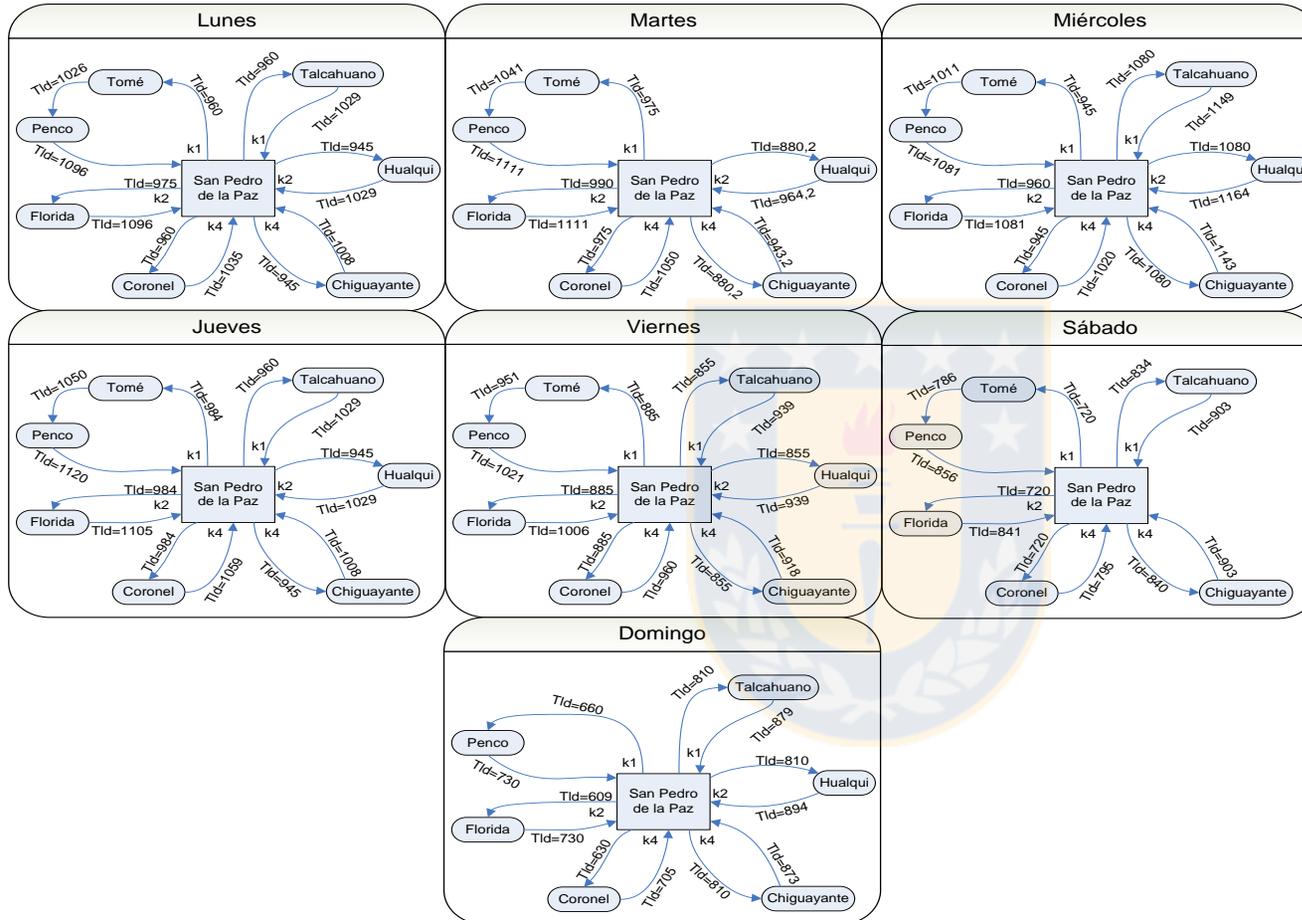


Figura 9: Ruta semanal de los supervisores k1, k2, k4 y k5 que dependen del depósito de la comuna de Concepción de la provincia de Concepción

- Como se observa en la figura 9, el depósito de Concepción se asignaron 2 depósitos para esta comuna.
- Para el primer depósito se deben contratar 3 supervisores (k1, k2 y k4), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k1 supervisa los programas deportivos que se encuentran el depósito.
- Para el segundo depósito se deben contratar 1 supervisor (k5), el cual tiene una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k5 también supervisa los programas deportivos que se encuentran el depósito.
- El  $T_i^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

Provincia Concepción, depósito San Pedro de la Paz



- Como se observa en la figura 10, el depósito de San Pedro de la Paz se asignaron 2 depósitos para esta comuna.
- Para el primer depósito se deben contratar 3 supervisores (k1, k2 y k4), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k1 supervisa los programas deportivos que se encuentran el depósito.
- Para el segundo depósito se deben contratar 1 supervisor (k1, k2,y k4), el cual tiene una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k2 también supervisa los programas deportivos que se encuentran el depósito.
- El  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

Figura 10: Ruta semanal de los supervisores k1, k1', k2, k2', k4 y k4' que dependen del depósito de la comuna de San Pedro de la Paz de la provincia de Concepción

### 5.2.2.iv Definición de rutas Provincia de Ñuble

Provincia Ñuble, depósito Ránquil

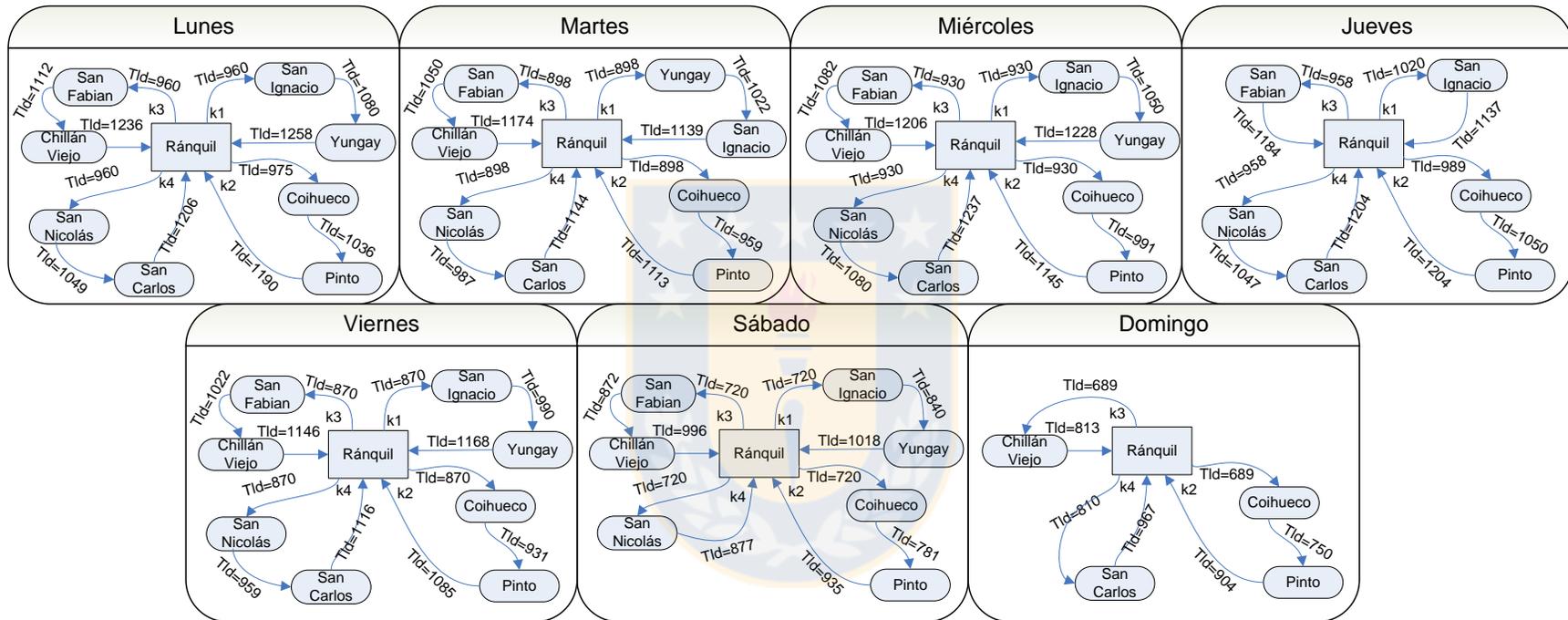


Figura 11: Ruta semanal de los supervisores k1, k2, k3 y k4' que dependen del depósito de la comuna de Ránquil de la provincia de Ñuble

Como se observa en la figura 11, el depósito de Ránquil se les asignaron 4 supervisores (k1, k2, k3 y k5), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k2 supervisa los programas deportivos que se encuentran el depósito. El  $T_i^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

Provincia Ñuble, depósito San Nicolás

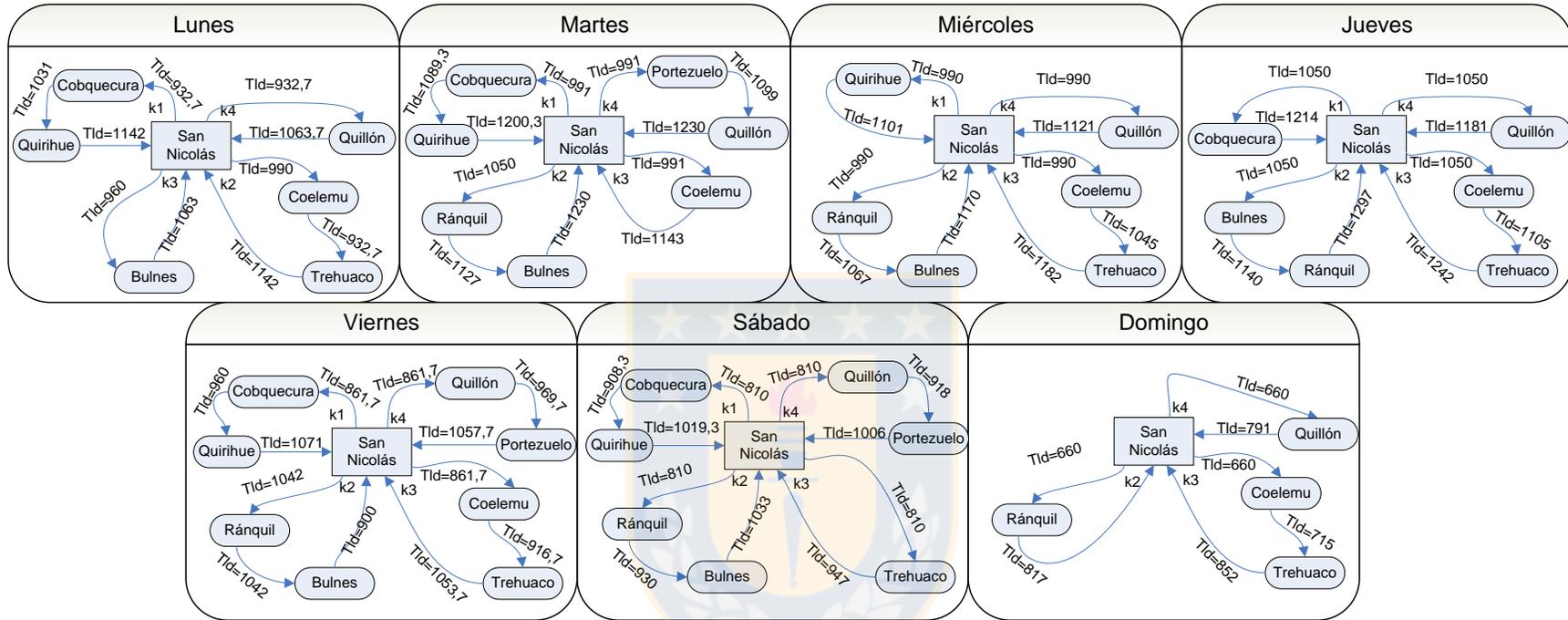


Figura 12: Ruta semanal de los supervisores k1, k2, k3 y k4 que dependen del depósito de la comuna de San Nicolás de la provincia de Ñuble

Como se observa en la figura 12, el depósito de San Nicolás se les asignaron 4 supervisores (k1, k2, k3 y k4), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k2 supervisa los programas deportivos que se encuentran el depósito. El  $T_t^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

Provincia Ñuble, depósito Yungay

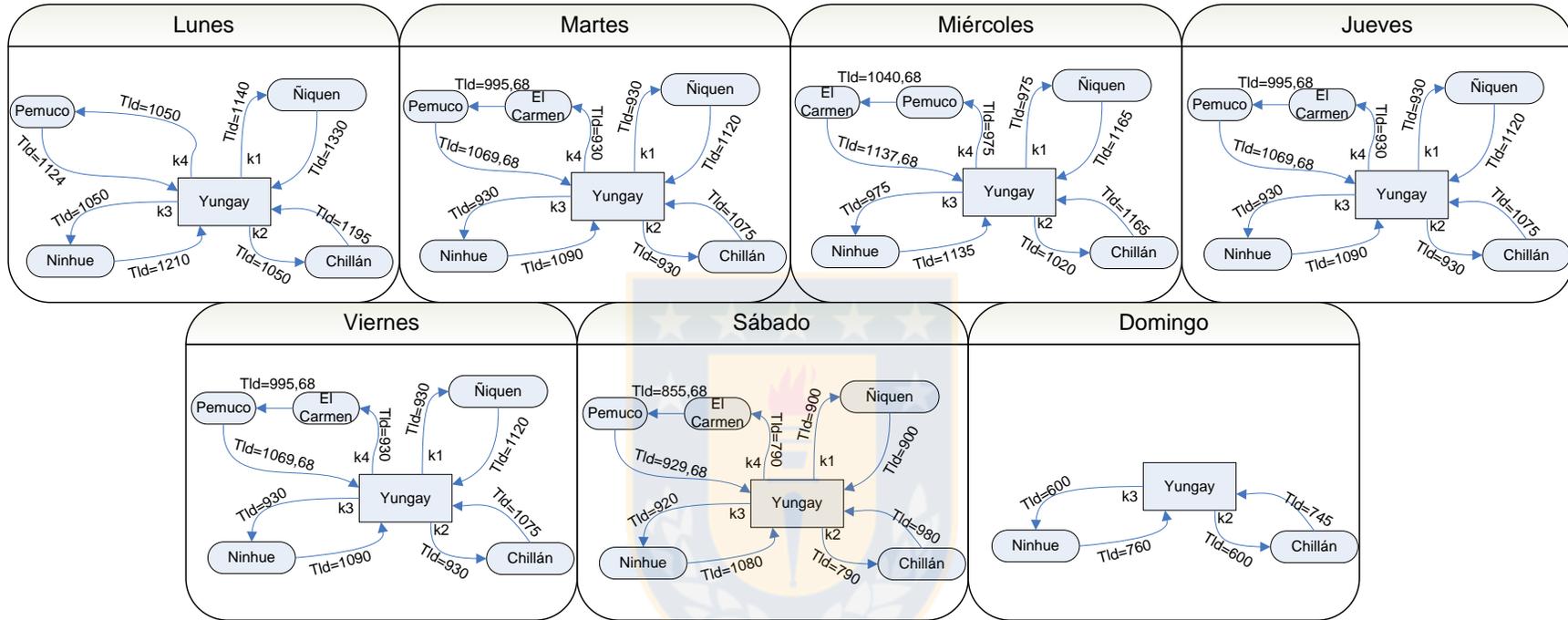


Figura 13: Ruta semanal de los supervisores k1, k2, k3 y k4 que dependen del depósito de la comuna de Yungay de la provincia de Ñuble

Como se observa en la figura 13, el depósito de Yungay se les asignaron 4 supervisores (k1, k2, k3 y k4), los cuales tienen una programación definida semanal. En este caso, el supervisor k2 supervisa los programas deportivos que se encuentran en el depósito. El  $T_l^d$  corresponde al tiempo acumulado hasta la supervisión de la comuna l en día d, por ende el supervisor sale del depósito a la hora (transformada en minutos) como lo indican las flechas y se va acumulando en la medida que realiza su recorrido.

### 5.3 Comparación modelo v/s situación real

En virtud a lo establecido en los acápite anteriores, el modelo planteado ofrece múltiples ventajas comparativas respecto a la operación que se ejecuta actualmente en el servicio, ya que el modelo propone modificar el sistema de contrato de los trabajadores de jornadas a horas semanales, permitiendo con ello optimizar las ejecuciones y así garantizar el 100% de las supervisiones, distribuyendo de mejor manera las cargas laborales. Es así que este modelo propone aumentar en un 47,8% la cantidad de supervisores actuales, es decir de 23 a 34 supervisores sin perjudicar el presupuesto anual destinado a ello, por el contrario, la propuesta permite reducir en un 11% el costo total de contratación.

Lo anterior se resume en el cuadro comparativo que se presenta a continuación:

Comparativo	Cant. de Hr por semana	Cant. de Supervisores	\$ por Hr	Costo Mensual	Costo anual Servicio	% ahorro
Situación Real	946	23	4.500	17.028.000	204.336.000	
Modelo propuesto	852	34	4.500	15.336.000	184.032.000	<b>11,0%</b>

Cuadro 29: Resumen cuadro comparativo Situación Real v/s Modelo propuesto

A continuación, se detalla el Cuadro 29, considerando el desglose de tanto de la cantidad de horas semanales que se requieren para contratar a los supervisores, como el número de supervisores contratados, el costo por hora y el presupuesto anual disponible del servicio de la situación actual y posteriormente en el cuadro N°31 se presenta el detalle del modelo propuesto:

Jornada	Cant. de Hr por semana	Cant. de Supervisores	\$ por Hr	Costo Mensual	Costo anual Servicio
Completa	44	18	4.500	14.256.000	171.072.000
Tres cuarto	33	4	4.500	2.376.000	28.512.000
Media	22	1	4.500	396.000	4.752.000
<b>TOTAL</b>	<b>946</b>	<b>23</b>	<b>4.500</b>	<b>17.028.000</b>	<b>204.336.000</b>

Cuadro 30: Detalle Cantidad de Supervisores, horas contratadas y costos destinados situación real

Jornada	Cant. de Hr por semana	Cant. de Supervisores	\$ por Hr	Costo Mensual	Costo anual Servicio
Variable	8	1	4.500	144.000	1.728.000
Variable	10	3	4.500	540.000	6.480.000
Variable	13	3	4.500	702.000	8.424.000
Variable	14	2	4.500	504.000	6.048.000
Variable	15	1	4.500	270.000	3.240.000
Variable	17	1	4.500	306.000	3.672.000
Variable	18	2	4.500	648.000	7.776.000
Variable	19	1	4.500	342.000	4.104.000
Variable	21	2	4.500	756.000	9.072.000
Variable	24	1	4.500	432.000	5.184.000
Variable	25	1	4.500	450.000	5.400.000
Variable	26	1	4.500	468.000	5.616.000
Variable	29	2	4.500	1.044.000	12.528.000
Variable	30	1	4.500	540.000	6.480.000
Tres cuarto	33	2	4.500	1.188.000	14.256.000
Variable	34	3	4.500	1.836.000	22.032.000
Variable	37	1	4.500	666.000	7.992.000
Variable	40	3	4.500	2.160.000	25.920.000
Variable	43	2	4.500	1.548.000	18.576.000
Completa	44	1	4.500	792.000	9.504.000
<b>TOTAL</b>	<b>852</b>	<b>34</b>	<b>4.500</b>	<b>15.336.000</b>	<b>184.032.000</b>

Cuadro 31: Detalle Cantidad de Supervisores, horas contratadas y costos destinados del modelo

Como se observa en la tabla anterior, solo dos supervisores deberían, ser contratados con el sistema de jornadas, lo anterior, por la cantidad de horas semanales que deben trabajar. Bajo este escenario, el programa garantiza cubrir en un 100% todos los programas deportivos distribuidos en la región. En la actualidad, los programas deportivos presentan un 85% de cobertura de supervisiones y esto se debe principalmente a que los propios supervisores desarrollan las rutas semanales de supervisión, lo que obviamente las decisiones no son las adecuadas. En el año de estudio de los datos, la provincia de Ñuble fue aquella con la menor cantidad de programas sin fiscalizar, en segundo lugar la provincia de Biobío, tal como lo plantea el Cuadro N°32. Esta propuesta del modelo, ofrece mejorar los servicios y además permite perfeccionar el sistema de control de gestión de las actividades deportivas, ya que se puede detectar cuáles son los programas que presentan dificultades en su ejecución y de esta forma el servicio puede intervenir y definir las estrategias pertinentes para que los programas logren el impacto social y deportivo.

Provincia	Cantidad de Supervisiones	Cantidad de Programas	% Ejecución
Concepción	156	172	91%
Arauco	66	70	94%
Biobío	90	102	88%
Ñuble	108	149	72%
Total	420	493	85%

Cuadro 32: Detalle Porcentaje de cumplimiento de las supervisiones ejecutadas en el año de la VIII región  
Fuente: Base de Datos IND

## CAPITULO 6: CONCLUSIONES

Muchos de los procesos administrativos que desarrolla el sector público respecto a la toma de decisiones a través de la ejecución de sus actividades, estos se realizan, en la mayoría de los casos, con carácter empírico y por ende no siempre se toman buenas decisiones que permitan optimizar los recursos fiscales.

Como se desarrolló en este estudio, para abordar el problema de optimizar la programación de supervisores de programas deportivos regionales, se dividió en dos modelos complementarios entre sí y mediante al primer modelo (MDVRP), se logró abordar el problema como un caso de ruteo de vehículos con múltiples depósitos y de esta forma se realizó, una asignación primaria de la flota de supervisores a cada una de las comunas involucradas y de ello se logró, determinar la cantidad de depósitos o lugares de residencia de los supervisores, asignando para ello 12 depósitos de 54 comunas y a través del modelo 2 (VRPTW), se consiguió incorporando las ventanas de tiempo de los programas deportivos, optimizar el número de supervisores deportivos, con sus respectiva asignación y rutas de trabajo, balanceando la carga laboral y a su vez, diseñar las rutas a cubrir por cada supervisor para cumplir con la metas institucionales, de esta manera se logra el 100% de las supervisiones en lugar del 85% que se ejecutó en el año de estudio. Además el modelo presentó un 11% de ahorro del presupuesto asignado aumentando la cantidad de supervisores a contratar, pero contratándolos a través de horas semanales en lugar a sistema de jornadas de trabajo, dado que de esta manera, las cargas de trabajo en relación a distancias de trayecto, cantidad de programas y horarios de los mismos se encuentran equilibradas mejorando con ello variables indirectas al problema como lo es el ambiente laboral, pues en la situación actual muchos de los supervisores manifiestan un descontento por la inequidad existente en la distribución de trabajo.

Existe una serie de servicios públicos que dentro de sus principales funciones, se encuentra la supervisión y fiscalización, como lo es por ejemplo: en educación, transporte, obras públicas, gobiernos regionales entre otros, en que se podría ajustar el modelo propuesto para que permitan minimizar los costos tanto en viáticos de los funcionarios como el combustible de los vehículos fiscales, dado que a pesar de que en el servicio público las ejecuciones presupuestarias deben ser ejecutadas al 100%, este recurso podría mejorar la calidad de los servicios siendo más eficiente el producto, puesto que la retroalimentación de las actividades o proyectos tendrían una mayor supervigilancia y se podría responder a la comunidad con mayor rapidez ante una falla o problema,

por ende, se proponen como futuras líneas de investigación los siguientes temas no abordados en esta tesis:

- Desarrollar una metaheurística que permita la programación de supervisores de programas deportivos regionales bajo un enfoque nacional en tiempos computacionales aceptables, considerando por la cantidad de variables asociada al modelo, se generaría un problema altamente combinatorio. De esta manera el gobierno podría mejorar la distribución presupuestaria nacional e invertirla en mejorar los propios productos a la ciudadanía.
- Incorporar en las restricciones del problema variables asociadas al uso de los vehículos fiscales y viáticos a funcionarios públicos, puesto que el modelo propuesto no se encuentra considerado ya que los supervisores que se contratan son a honorarios, por ende no gozan de los beneficios de los funcionarios públicos contratados vía planta o a contrata.
- Ajustar el modelo a un problema de ruteo de vehículos con ventanas de tiempo con capacidad heterogénea, considerando con ello que los supervisores puedan disponer de distintas capacidades o especialización de un área, puesto que en algunos servicios públicos, las supervisiones o fiscalizaciones se distribuyen por un área en específico, como por ejemplo en Obras Públicas, las fiscalizaciones a obras, existen profesionales con conocimiento en viviendas, otros en carreteras, por nombrar algunos ejemplos.
- Elaborar un modelo de ruteo de vehículos con múltiples depósitos, ventanas de tiempo y periódico, fusionando en un solo modelo la propuesta que se desarrolla en esta tesis.

## REFERENCIAS

- Anne-Laure Ladier, Gülgün Alpan, Bernard Penz. (2013). Joint employee weekly timetabling and daily rostering: A decision-support tool for a logistics platform. *European Journal of Operational Research*, 234, 278-291.
- Mir Hadi Moazen Jamshidia, Amran Raslib, RorlindaYusof. (2012). Essential Competencies for the Supervisors of Oil and Gas Industrial Companies. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 40, 368-374.
- Romain Guillaume, Raymond Houé, Bernard Grabot. (2014). Robust competence assessment for job assignment. *European Journal of Operational Research*, 238, 630-644.
- Jan Van Belle, Paul Valckenaers, Dirk Cattrysse. (2012). Cross-docking: State of the art. *Social and Behavioral Sciences*, 40, 368-374. *Omega*, 40, 827-846.
- Ana Caras. 2013. Ethics and Supervision Process - Fundaments of Social Work Practice. *European. Procedia – Social and Behavioral Sciences*, 92, 133-141.
- Avner Ben-Nera, Fanmin Kong, Stéphanie Lluís. (2012). Uncertainty, task environment, and organization design: An empirical investigation. *Journal of Economic Behavior & Organization*, 82, 281-313
- D.E. Ighravwe, S.A. Oke. (2014). A non-zerointeger non-linear programming model for maintenance Workforce sizing. *Int. J. Production Economics*, 150, 204-214.
- Ying-Hueih Chen, Tzu-Pei Lin, David C. Yen. (2014). How to facilitate inter-organizational knowledge sharing: The impact of trust. *Information & Management*, 51, 568-578.
- Mette Asmild, Peter Bogetoft, Jens Leth Hougaard. (2012). Rationalising inefficiency: Staff utilization in branches of a large Canadian bank. *Omega*, 41, 80-87.
- M. Krishnamoorthy, A.T. Ernst, D. Baatar. (2011). Algorithms for large scale Shift Minimisation Personnel Task Scheduling Problems. *European Journal of Operational Research*, 219, 34-48.
- Paul F. Buller, Glenn M. McEvoy. (2012). Strategy, human resource management and performance: Sharpening line of sight. *Human Resource Management Review*, 22, 43-56.
- Timothy P. Munyon, James K. Summers, Gerald R. Ferris. (2012). Team staffing modes in organizations: Strategic considerations on individual and cluster hiring approaches. *Human Resource Management Review*, 21, 228-242.
- Stefanie Kritzinger, Karl F. Doerner. (2014). Adaptive search techniques for problems in vehicle routing, Part I: A survey. Department of Business Administration, University of Vienna, Austria.
- Hongqi Li, Yanran Li, Qihong Zhao, Yue Lu, and Qiang Song. (2013). The Tractor and Semitrailer Routing Considering Carbon Dioxide Emissions. Hindawi Publishing Corporation *Mathematical Problems in Engineering*, 12 pages.

Mohsen Bayati, E. Kharazmi, M. Javanbakht, A. Sadegi, M. Arefnejad, S. Vahedi, F. Esmaeilzadeh. (2013). Optimization the number of nurses in the emergency department using linear programming technique. *Journal of Health Management & Informatics*. 2, 40-45.

Mohammed Hadwan, Masri Ayob, Nasser R. Sabar, Roug Qu.(2013). A harmony search algorithm for nurse rostering problems. *Information Sciences*, 233, 126-140.

Philippe Chevalier, Isabelle Thomas, David Geraets, Els Goetghebeur, Olivier Janssens Dominique Peeters, Frank Plastria. (2012). Locating Fire Stations: An integrated approach for Belgium. *Socio-Economics Planning Sciences*, 46, 172-182.

Jeroen Beliën, Erik Demeule meester, Philippe De Bruecker, JorneVanden Bergh, Brecht Cardoen. (2012). Integrated staffing and scheduling for an aircraft line maintenance problem. *Computers & Operations Research* 40, 1023-1033.

Peter Francis, Karen Smilowitz. (2006). *Modeling Techniques for Periodic Vehicle Routing Problems*. Department of Industrial Engineering and Management, Northwestern University, USA.

López franco, Santiago Nieto. (2012). Estrategias para el diseño e hibridación de una methaheurística basada en búsqueda dispersa que resuelva el problema MDVRP multiobjetivo: Costo y balanceo de carga. Congreso Latino-Iberoamericano de Investigación de Operaciones, Brasil, 1915-1926.

Alfredo Olivera. (2004), *Heurísticas para problemas de ruteo de vehículos*. Instituto de Computación, Facultad de Ingeniería, Universidad de la Republica Montevideo, Uruguay, 63 páginas.

