



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

LOCALIZACION OPTIMA Y REDIMENSIONAMIENTO DE ESCUELAS  
RURALES EN CHILE

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION DE  
OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL  
INDUSTRIAL

FERNANDO ANDRES ARAYA MORA

SANTIAGO, CHILE

SEPTIEMBRE 2011



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

LOCALIZACION OPTIMA Y REDIMENSIONAMIENTO DE ESCUELAS  
RURALES EN CHILE

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION DE  
OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL  
INDUSTRIAL

FERNANDO ANDRES ARAYA MORA

PROFESOR GUIA  
ANDRES WEINTRAUB POHORILLE

MIEMBROS DE LA COMISION  
VLADIMIR MARIANOV KLUGE  
FRANCISCO MARTINEZ CONCHA  
ALEJANDRA MIZAL A SALCES

SANTIAGO, CHILE

SEPTIEMBRE 2011

## **LOCALIZACION OPTIMA Y REDIMENSIONAMIENTO DE ESCUELAS RURALES EN CHILE**

En Chile, el 37,6% de establecimientos educacionales pertenecen al ámbito de la ruralidad; no obstante sólo el 9,32% de los alumnos viven en zonas rurales. Muchas de las escuelas rurales son pequeñas, con un solo profesor responsable de la instrucción de todos los estudiantes locales (escuelas multigrado). La distribución geográfica de las escuelas rurales no ha sido coordinada y el resultado ha sido la utilización desigual de las escuelas existentes y algunas distancias de viaje excesivas para los alumnos. Por este motivo se busca optimizar la distribución de escuelas rurales a lo largo del país, determinando cuáles deben modificarse, cerrarse y si es necesario dónde abrir nuevas escuelas.

Se desarrolló un modelo de programación lineal mixta, donde el objetivo era disminuir los costos incurridos por todos los participantes (MINEDUC, alumnos y sostenedores). Las variables de decisión corresponden a construir escuelas, dónde enviar los alumnos y cuántos cursos deben agregarse (o quitarse) de una escuela existente. Debido al tamaño del problema, en número de variables, se hizo necesario resolver cada región en forma independiente y usa un modelo complementario para elegir lugares candidatos para construir nuevas escuelas.

Se incluyen resultados computacionales para todo el país, incluida la sensibilidad de parámetros clave, tales como: la capacidad de las salas de estudiantes por grado y escuela, el manejo de cursos multigrado, y el costo de transporte (gastos y tiempo de viaje).

Los posibles ahorros monetarios a alcanzar utilizando las configuraciones de escuelas sugeridas, rondan un 13% de los costos totales actuales. Asimismo, los alumnos en promedio viajarían un 37% menos con respecto a lo que viajan en la actualidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Luego de años de sacrificio y dedicación llega el momento culmine en la vida de un universitario. Nada de esto hubiera sido posible sin el pilar fundamental que han sido en mi vida mis padres: por su amor, formación e inculcación de valores y por creer siempre en mí. Gracias a ellos pude llegar a ser lo que soy.

Quisiera agradecer a mis profesores que me guiaron en esta tesis: Andrés Weintraub, Vladimir Marianov y Francisco Martínez, por todos los consejos, comentarios y haber sido parte enriquecedora de mi formación profesional.

Además, no puedo dejar de mencionar como agradecimiento especial a Robert Dell con quien comenzamos esta extensa investigación y a Pedro Donoso por su dirección y valiosas asesorías.

Agradezco a Rodrigo Padilla por su colaboración en el desarrollo de este trabajo, ayudándome en el trabajo realizado en el laboratorio durante y finalizado el estudio formal.

Finalmente, debo agradecer a Marcel, Gustavo, Nicol por su amistad incondicional y a Patricia por su apoyo constante y aliento para dar por finalizado este gran paso.

## TABLA DE CONTENIDOS

<b>1</b>	<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1	Antecedentes.....	1
1.2	Objetivos del estudio .....	3
<b>2</b>	<b>Revisión de los Modelos de Optimización para la Localización de Establecimientos Educativos.....</b>	<b>4</b>
2.1	Descripción del problema .....	4
2.2	Marco conceptual: Modelos alternativos .....	4
2.2.1	Modelos Generales.....	4
2.2.2	Modelos Específicos para Establecimientos Educativos .....	11
<b>3</b>	<b>Especificación del Modelo de Localización.....</b>	<b>16</b>
3.1	Descripción del Modelo de Localización propuesto.....	16
3.2	Supuestos y consideraciones del Modelo de Localización.....	20
3.3	Especificación detallada del Modelo de Localización .....	25
3.3.1	Índices del Modelo de Localización .....	25
3.3.2	Conjuntos de índices del Modelo de Localización.....	27
3.3.3	Parámetros del Modelo de Localización .....	28
3.3.4	Variables del Modelo de Localización.....	29
3.3.5	Función objetivo del Modelo de Localización.....	30
3.3.6	Restricciones del Modelo de Localización .....	31
3.4	Limitaciones del Modelo de Localización .....	35
3.5	Especificación del Modelo de Selección de Candidatos a Escuelas .....	36
3.5.1	Índices del Modelo de Selección.....	37
3.5.2	Variables de Decisión .....	37
3.5.3	Parámetros.....	37

3.5.4	Función Objetivo.....	37
3.5.5	Restricciones.....	38
<b>4</b>	<b>El caso aplicado: Escuelas Rurales en Chile.....</b>	<b>39</b>
4.1	Descripción General .....	39
4.2	Heurística utilizada .....	50
4.3	Metodología de resolución.....	50
4.4	Obtención de parámetros de Costos .....	51
4.4.1	Infraestructura .....	51
4.4.1.1	Inversiones en Escuelas Nuevas .....	51
4.4.1.2	Inversiones en Salas.....	52
4.4.2	Remuneraciones .....	53
4.4.2.1	Remuneraciones de profesores .....	53
4.4.2.2	Remuneraciones de directores.....	54
4.4.3	Transporte .....	54
4.5	Modelo con Población Agregada .....	56
<b>5</b>	<b>Resultados de la aplicación del Modelo de Localización a nivel país por región</b>	<b>59</b>
5.1	Resumen País.....	60
5.2	XV Región de Arica y Parinacota.....	66
5.3	I Región de Tarapacá. ....	68
5.4	II Región de Antofagasta. ....	70
5.4.1	Corrida adicional: nuevo límite de distancia a recorrer por los alumnos.....	72
5.5	III Región de Atacama. ....	74
5.6	IV Región de Coquimbo.....	76
5.7	V Región de Valparaíso.....	78
5.8	RM Región Metropolitana. ....	80

5.9	VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins. ....	82
5.10	VII Región del Maule. ....	84
5.11	VIII Región del Biobío. ....	87
5.12	IX Región de la Araucanía. ....	90
5.12.1	Corrida adicional: limitando escuelas a cerrar.....	93
5.13	X Región de Los Lagos. Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren. ....	96
5.13.1	Corrida adicional: limitando escuelas a cerrar.....	99
5.14	X Región de Los Lagos. Zona continental, desde altura de Fiordo Reñihue hasta límite Sur de Región. ....	102
5.15	X Región de Los Lagos. Zona Insular, Isla Grande de Chiloé. ....	104
5.16	XIV Región de Los Ríos.....	106
5.16.1	Corrida adicional: limitando escuelas a cerrar.....	108
5.17	XI Región de Aysén. ....	111
5.18	XII Región de Magallanes y Antártica Chilena. ....	113
5.19	Resultados según prueba SIMCE.....	115
5.20	Comparación de Resultados al resolver regiones divididas. ....	118
5.21	Tiempos de Resolución. ....	121
<b>6</b>	<b>Conclusiones</b> .....	<b>122</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía</b> .....	<b>131</b>
<b>8</b>	<b>Anexos</b> .....	<b>134</b>
8.1	Anexos Resultados.....	134
8.1.1	VII Región del Maule (Zona 1) .....	134
8.1.2	VII Región del Maule (Zona 2) .....	136
8.1.3	VII Región del Maule .....	138
8.1.4	VIII Región del Biobío (Zona 1).....	140

8.1.5	VIII Región del Biobío (Zona 2).....	143
8.1.6	VIII Región del Biobío .....	146
8.1.7	IX Región de La Araucanía (Zona 1) .....	147
8.1.8	IX Región de La Araucanía (Zona 2) .....	149
8.1.9	IX Región de La Araucanía.....	151
8.1.10	Región de Los Lagos (Zona 1) .....	152
8.1.11	X Región de Los Lagos (Zona 2) .....	154
8.1.12	X Región de Los Lagos (Zonas 1 y 2).....	157

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Chile regionalizado.....	39
Figura 2. Vista de la división de la VII Región .....	46
Figura 3. Vista N°2 de la división de la VII Región .....	46
Figura 4. Vista de la división de la VIII Región .....	47
Figura 5. Vista N°2 de la división de la VIII Región .....	47
Figura 6. Vista de la división de la IX Región .....	48
Figura 7. Vista N°2 de la división de la IX Región .....	48
Figura 8. Vista de la división de la X Región .....	49
Figura 9. Vista N°2 de la división de la X Región .....	49
Figura 10. Ejemplo de resultados del modelo Situación Pre Optimización. ....	57
Figura 11. Ejemplo de resultados del modelo Situación Optimizada con demanda agregada. ....	58
Figura 12. Ejemplo de resultados del modelo Situación Optimizada con demanda desagregada.....	58

## INDICE DE GRAFICOS

Gráfico1. Evolución de la población total al 30 de junio de 2005, 1950-2050 (en miles de personas).....	41
Gráfico 2 . Evolución de las tasas de natalidad y mortalidad, por quinquenio, 2000 – 2050 (por mil habitantes) .....	41
Gráfico 3. Evolución de la estructura de la población por grandes grupos de edad 1950-2050 (en porcentajes).....	42
Gráfico 4. Inversión requerida por región (en millones de pesos anuales). Usando restricción de distancia de 50 km en regiones extremas .....	126
Gráfico 5. Ahorro en costos respecto a situación base. Usando restricción de distancia de 50 km en regiones extremas.....	127
Gráfico 6. Inversión requerida por región (en millones de pesos anuales). No se usa restricción de distancia de 50 km en regiones extremas. ....	127
Gráfico 7. Ahorro en costos respecto a situación base. No se usa restricción de distancia de 50 km en regiones extremas.....	128

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Establecimientos educaciones según régimen de cursos simples o multigrados. ....	35
Tabla 2. Datos de población e infraestructura rural por región. ....	40
Tabla 3. Tamaño del problema por región. ....	43
Tabla 4. Tamaño del problema por región, asociado a los índices del modelo. ....	44
Tabla 5. Tamaño del problema por región, en número de variables. ....	44
Tabla 6. Tamaño del problema por sub-región. ....	45
Tabla 7. Costos promedio de profesores de establecimientos rurales por región. ....	53
Tabla 8. Costo promedio de directores de establecimientos educacionales por región. ....	54
Tabla 9. Tabla resumen optimización país. ....	62
Tabla 10. Tabla resumen por región. ....	63
Tabla 11. Tabla resumen por región: caso donde no se limita distancia a viajar por los alumnos. ....	63
Tabla 12. Tabla resumen optimización país y macrozonas. ....	65
Tabla 13. Tabla resumen, escenarios XV Región. ....	67
Tabla 14. Escuelas a cerrar, XV Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.) .	68
Tabla 15. Tabla resumen, escenarios I Región. ....	69
Tabla 16. Escuelas a cerrar, I Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.) . ....	70
Tabla 17. Tabla resumen, escenarios II Región. ....	71
Tabla 18. Escuelas a cerrar, II Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.) . ....	72
Tabla 19. Tabla resumen, escenario extra II Región. ....	73
Tabla 20. Escuelas a cerrar, II Región. Escenario Optimizado (100 km distancia máx.) ..	73
Tabla 21. Tabla resumen, escenarios III Región. ....	75
Tabla 22. Escuelas a cerrar, III Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.) ...	76
Tabla 23. Tabla resumen, escenarios IV Región. ....	77

Tabla 24. Escuelas a cerrar, IV Región.....	77
Tabla 25. Tabla resumen, escenarios V Región.....	79
Tabla 26. Escuelas a cerrar, V Región.....	79
Tabla 27. Tabla resumen, escenarios RM.....	81
Tabla 28. Escuelas a cerrar, RM.....	82
Tabla 29. Tabla resumen, escenarios VI Región.....	83
Tabla 30. Escuelas a cerrar, VI Región.....	84
Tabla 31. Tabla resumen, escenarios VII Región.....	85
Tabla 32. Escuelas a cerrar, VII Región.....	86
Tabla 33. Tabla resumen, escenarios VIII Región.....	88
Tabla 34. Escuelas a cerrar, VIII Región.....	88
Tabla 35. Tabla resumen, escenarios IX Región.....	91
Tabla 36. Escuelas a cerrar, IX Región.....	91
Tabla 37. Tabla resumen, escenario extra IX Región.....	94
Tabla 38. Escuelas a cerrar, IX Región.....	94
Tabla 39. Tabla resumen, escenarios X Región (Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren). .....	97
Tabla 40. Escuelas a Cerrar, X Región Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren).....	97
Tabla 41. Tabla resumen, escenario extra X Región.....	100
Tabla 42. Escuelas a Cerrar, X Región Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren).....	100
Tabla 43. Tabla resumen, escenarios X Región (Zona continental, desde altura de Fiordo Reñihue hasta límite Sur de Región) .....	103
Tabla 44. Escuelas a Cerrar, X Región (Zona continental, desde altura de Fiordo Reñihue hasta límite Sur de Región).....	104
Tabla 45. Tabla resumen, escenarios X Región (Zona Insular, Isla Grande de Chiloé)..	105
Tabla 46. Escuelas a Cerrar, X Región (Zona Insular, Isla Grande de Chiloé). .....	105

Tabla 47. Tabla resumen, escenarios XIV Región. ....	107
Tabla 48. Escuelas a cerrar, XIV Región .....	107
Tabla 49. Tabla resumen, escenario extra XIV Región. ....	109
Tabla 50. Escuelas a cerrar, XIV Región .....	110
Tabla 51. Tabla resumen, escenarios XI Región.....	112
Tabla 52. Escuelas a cerrar, XI Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.).	113
Tabla 53. Tabla resumen, escenarios XII Región.....	114
Tabla 54. Escuelas a cerrar, XII Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.).	115
Tabla 55. Resultados SIMCE 2007 (cuarto básico) para las escuelas actuales que no deben cerrarse.....	116
Tabla 56. Resultados SIMCE 2007 (cuarto básico) para las escuelas que deben cerrarse. ....	117
Tabla 57. Resultados para las regiones que fueron divididas. ....	119
Tabla 58. Tabla de tiempos de ejecución.....	121
Tabla 59. Distribución de la dependencia de colegios existentes versus los colegios que cierra el modelo. ....	129
Tabla 60. Tabla resumen, escenarios VII región(Zona 1).....	135
Tabla 61. Escuelas a cerrar, VII región (Zona 1).....	136
Tabla 62. Tabla resumen, escenarios VII región (Zona 2).....	137
Tabla 63. Escuelas a cerrar, VII región (Zona 2).....	138
Tabla 64. Tabla resumen, escenarios VII región. ....	139
Tabla 65. Tabla resumen, escenarios VIII región (Zona 1).....	141
Tabla 66. Escuelas a cerrar, VIII región (Zona 1).....	142
Tabla 67. Tabla resumen, escenarios VIII región (Zona 2).....	144
Tabla 68. Escuelas a cerrar, VIII región (Zona 2).....	145
Tabla 69. Tabla resumen, escenarios VIII región .....	146
Tabla 70. Tabla resumen, escenarios IX región (Zona 1).....	148

Tabla 71. Escuelas a cerrar, IX región (Zona 1).....	149
Tabla 72. Tabla resumen, escenarios IX región (Zona 2).....	150
Tabla 73. Escuelas a cerrar, IX región (Zona 2).....	151
Tabla 74. Tabla resumen, escenarios IX región.....	152
Tabla 75. Tabla resumen, escenarios X región (Zona 1).....	153
Tabla 76. Escuelas a cerrar, X región (Zona 1).....	154
Tabla 77. Tabla resumen, escenarios X región (Zona 2).....	155
Tabla 78. Escuelas a cerrar, X región (Zona 2).....	156
Tabla 79. Tabla resumen, escenarios X región.....	157

# 1 Introducción

## 1.1 Antecedentes

En Chile, existen 4.426<sup>1</sup> establecimientos educacionales funcionando en zonas rurales, los cuales representan el 37,6% del total de unidades educativas funcionando en el país.

Esta área geográfica presenta singularidades que generan ineficiencias posibles de corregir. En efecto, respecto a la matrícula en zonas rurales, se observa que los establecimientos educacionales, en general, atienden a pocos alumnos. Durante el año 2007, 348.306 alumnos asistieron a unidades educativas en área rural, lo que representa sólo al 9.32% del total de alumnos que pertenece al sistema educativo<sup>2</sup>. Además, el sector rural se caracteriza por la pérdida de alumnos y una relación alumnos por profesor, extremadamente baja. Adicionalmente, dado que los establecimientos rurales -por definición- se ubican en zonas geográficas de baja densidad poblacional, están incapacitados para aumentar su matrícula.

En consecuencia, no es trivial implementar un tamaño mínimo eficiente, lo que genera problemas de eficiencia y de oportunidades. Es claro que un establecimiento unidocente entrega menos opciones que uno con mayor número de docentes al mismo tiempo que la calidad de la educación impartida dependerá fuertemente de lo que pueda hacer este único docente. Aunque, la subvención de ruralidad tiene como objetivo cubrir los mayores costos de educar niños en zonas rurales, una asignación más eficiente podría permitir centros con mayores

---

<sup>1</sup> Fuente: MINEDUC, Directorio de Establecimientos 2007 y Matrículas 2007, Departamento de Estudios y Desarrollo [13].

<sup>2</sup> El año 2007, se cuentan 3.736.023 estudiantes a lo largo del país, en educación básica y media. Fuente: MINEDUC, Tabla Matrículas 2002.

recursos económicos y pedagógicos para así entregar una educación de mayor calidad.

Además, existen otras características adicionales de estos establecimientos rurales, que los diferencian del sector urbano. Específicamente, la existencia de los cursos combinados, es decir, cursos de 2 hasta 4 grados simultáneamente. Existen 2.623 establecimientos que tienen menos de 4 docentes, los que en su mayoría atienden cursos multigrados, y son prioritariamente, de educación básica. Conjuntamente, se observa que los docentes que se desempeñan en el sector rural, tienen en promedio, más años de servicio que el promedio general municipal.

Los problemas descritos afectan principalmente al sector municipal, ya que éste se hace cargo del 77.9% de los establecimientos educacionales rurales, los que atienden al 71.65% de la matrícula en esta área geográfica.

Para reducir posible ineficiencias generadas en el sistema, se hace necesario realizar intervenciones que permitan optimizar el sistema educativo en los sectores rurales. No obstante, las intervenciones deben surgir de un proceso de planificación de calidad, que permita considerar las características específicas del sector rural y los objetivos de gobierno acerca del sistema educativo. Cabe señalar que las modificaciones pueden ser sugeridas pero no impuestas, pues las decisiones a tomar sobre cada escuela dependen de varios actores (municipalidades, sostenedores, MINEDUC, etc).

En esta tesis se modelará el problema de localización de escuelas rurales, tomando en cuenta las singularidades planteadas. Para esto se hará uso de un modelo de programación lineal, la cual es la técnica más usada en estos tipos de problemas.

## 1.2 Objetivos del estudio

El objetivo general de esta tesis, se presenta como:

*“Desarrollar un modelo que permita determinar la localización óptima de establecimientos educacionales rurales y sus tamaños (medido en número de cursos), indicando de dónde vienen los alumnos de cada escuela”.* Esto establece indicaciones para que los sostenedores, municipalidades y/o gobierno puedan tomar decisiones.

Los objetivos específicos del estudio son los siguientes:

- a. Diagnosticar la situación actual de la educación rural e identificar asignaciones ineficientes, considerando la oferta y demanda por educación, según la información disponible.
- b. Definir un modelo de optimización geográfica de establecimientos educacionales rurales, que incorpore variables de diversa índole.
- c. Identificar ubicaciones óptimas de las unidades educativas en zona rural, en base a proyecciones demográficas, restricciones de accesibilidad y transporte.

## **2 Revisión de los Modelos de Optimización para la Localización de Establecimientos Educativos**

En este capítulo se presentan diferentes enfoques generales para abordar problemas de localización. Posteriormente se entra en el detalle de aquellos que abordan el problema específico de localizar escuelas; se hace un repaso de la literatura existente, indicando para cada uno de estos aspectos que no son cubiertos a los cuales se les dará cabida en la modelación propuesta.

### **2.1 Descripción del problema**

El problema a estudiar es la ubicación de escuelas rurales a lo largo del país usando técnicas de optimización; específicamente una modelación de un problema discreto de ubicación de instalaciones (*facility location*). Se busca determinar dónde deben estar las escuelas y a qué escuela deben asistir los alumnos de una determinada zona, de modo de minimizar costos operacionales (de las escuelas funcionando), de transporte (dados por la distancia que un alumno viaja) e inversiones (en caso de requerir construir escuelas).

### **2.2 Marco conceptual: Modelos alternativos**

#### **2.2.1 Modelos Generales**

En la literatura se tienen los siguientes enfoques generales para este tipo de problema. Estos han sido revisados por Owen y Daskin 1998 [16], Reville y Eiselt 2005 [20] y Reville et al 2008 [21].

## Problemas de mediana

Su objetivo es instalar un número determinado de instalaciones, minimizando la distancia ponderada entre éstos y los puntos de demanda. Algunas de sus características son que su única forma de asignar la demanda es a través de la cercanía con las instalaciones, las instalaciones no tienen límite de capacidad, se debe saber a priori el número de instalaciones, etc.

La formulación viene dada por:

Inputs:

- $i$ : índice del nodo de demanda
- $j$ : índice de las potenciales instalaciones
- $h_i$ : demanda de nodo  $i$
- $d_{ij}$ : distancia entre nodo  $i$  e instalación  $j$
- $P$ : número de instalaciones a localizar

Variables:

- $X_j$ : 1 si se localiza una instalación en sitio  $j$ , 0 si no
- $Y_{ij}$ : 1 si la demanda del nodo  $i$  es servida por instalación  $j$ , 0 si no

Función Objetivo:

$$\text{Min} \sum_i \sum_j h_i d_{ij} Y_{ij}$$

Restricciones:

Ubicar  $P$  instalaciones:

$$\sum_j X_j = P$$

Cada nodo asignado a una instalación:

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \quad \forall i$$

Sólo se asigna si está construido:

$$Y_{ij} - X_j \leq 0, \quad \forall i, j$$

Naturaleza de las variables:

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j$$

Para más información sobre este modelo, ver: ReVelle y Swain 1970 [22]

- Uncapacitated facility location model: Es una modificación del problema anterior, agregando la minimización de costos de instalación a la función objetivo; por esto el número de instalaciones será determinado endógenamente.

La formulación de esta variación es:

Parámetros:

- $\alpha$ : Factor que convierte la distancia total viajada en unidades de costo
- $f_j$ : Costo de abrir instalación  $j$

Variables:

- $X_j$ : 1 si se localiza una instalación en sitio  $j$ , 0 si no
- $Y_{ij}$ : 1 si la demanda del nodo  $i$  es servida por instalación  $j$ , 0 si no

Función Objetivo:

$$\text{Min} \sum_j f_j X_j + \alpha \sum_{i,j} h_i d_{ij} Y_{ij}$$

Restricciones:

Cada nodo asignado a una instalación:

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \quad \forall i$$

Sólo se asigna si está construido:

$$Y_{ij} - X_j \leq 0, \quad \forall i, j$$

Naturaleza de las variables:

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i, j$$

Para mayor información, ver Balinski, 1965 [4]

### Problemas de cobertura

Usados principalmente para sistemas de emergencia, donde se debe cubrir la demanda satisfaciendo un nivel de servicio requerido (generalmente tiempo o distancia máxima a recorrer). Se considera que una población está cubierta cuando se encuentra dentro del radio de atención de la instalación. Se distinguen dos modelos:

- Location Set Covering: Minimiza el costo de apertura de las instalaciones, tal que se tenga un nivel de cobertura deseado para todos los integrantes de la demanda. El mayor problema que existe en esta formulación es que no se hace diferencia entre el tamaño de los nodos de demanda, por lo que podría

dar como resultado muchas instalaciones al tener que satisfacer cada una de ellos dentro del radio requerido.

La formulación es la siguiente:

Inputs:

- $c_j$ : costo de ubicar una instalación en  $j$
- $S$ : distancia (o tiempo) máxima aceptable de servicio
- $N_i$ : set de sitios  $j$  dentro de distancias aceptables al nodo  $i$  ( $N_i = \{j \mid d_{ij} \leq S\}$ )

Función Objetivo:

$$\text{Min} \sum_j c_j X_j$$

Restricciones:

Cada nodo tiene al menos un centro cerca:

$$\sum_{j \in N_i} X_j \geq 1, \quad \forall i$$

Naturaleza de las variables:

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j$$

- Maximal Covering problem: Maximiza la demanda cubierta dado un nivel de servicio. En este modelo no se realiza asignación demanda-instalación, sólo se asegura que el nodo está dentro del radio de cobertura; además una restricción de recursos aparece al limitar el número de instalaciones a abrir.

La formulación de este problema es:

VARIABLES DE DECISIÓN:

- $X_j$ : 1 si se localiza una instalación en sitio  $j$ , 0 si no
- $Z_i$ : 1 si el nodo  $i$  es cubierto, 0 si no

Función Objetivo:

$$\text{Max} \sum_i h_i Z_i$$

Restricciones:

Un nodo es cubierto si hay al menos un centro cerca:

$$Z_i \leq \sum_{j \in N_i} X_j, \quad \forall i$$

Restricción de recursos:

$$\sum_j X_j \leq P$$

Naturaleza de las variables:

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j$$

$$Z_i \in \{0,1\}, \quad \forall i$$

Para mayor información sobre modelos de cobertura, consultar Schilling, D. *et ál* 1993 [23]

## Problemas de centro

Busca minimizar la distancia máxima existente entre algún nodo de demanda y el centro que la satisface. Este modelo es similar al de mediana (comparten restricciones).

El problema se modela como:

VARIABLES DE DECISIÓN:

- $X_j$ : 1 si se localiza una instalación en sitio  $j$ , 0 si no
- $Y_{ij}$ : 1 si la demanda del nodo  $i$  es servida por instalación  $j$ , 0 si no
- $D$ : Distancia máxima entre un nodo de demanda y su locación más cercana

Función Objetivo:

$$\text{Min } D$$

Restricciones:

Ubicar  $P$  instalaciones:

$$\sum_j X_j = P$$

Cada nodo asignado a una ubicación:

$$\sum_j Y_{ij} = 1, \quad \forall i$$

Sólo se asigna si está construido:

$$Y_{ij} - X_j \leq 0, \quad \forall i, j$$

Distancia máxima:

$$D \geq \sum_j d_{ij} Y_{ij}, \quad \forall i$$

Naturaleza de las variables:

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j$$

$$Y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i,j$$

$$D \geq 0$$

Cabe señalar que estos tres tipos de formulaciones generales (problemas de mediana, cobertura y centro) no toman en cuenta la configuración actual de instalaciones existentes y su interacción con las que se abrirán.

Algunas de las aplicaciones implementadas a partir de estos modelos se pueden ver en Marianov y Taborga 2001 [11] y Serra y Marianov 1998 [24].

Dell *et ál* 2008 [8] realizó una formulación para localización de estaciones de las fuerzas armadas, donde se realiza una asignación oferta-demanda considerando la ubicación de las instalaciones actuales y la posibilidad de modificarlas, minimizando los costos totales incurridos.

## 2.2.2 Modelos Específicos para Establecimientos Educativos

Existen algunos modelos que se han realizado con el objetivo de ubicar específicamente escuelas.

“Localización de infraestructura educativa para localidades urbanas en la provincia de Buenos Aires” (Cohen *et ál*, 2003) [7]

Es un modelo lineal el cual minimiza los costos de infraestructura, operaciones y transporte. Posee como variables de decisión la superficie de escuelas a construir

por zona y el flujo de alumnos entre zonas. Algunas inconvenientes de esta formulación son:

- No se hace distinción entre colegios de una zona (sólo se asignan los alumnos a una zona y no a un colegio)
- No se incluye parámetros de calidad
- La demanda es agregada y no a nivel de grados

“Modelo de Optimización lineal determinístico para la localización de colegios”  
(Gac et ál, 2003) [9]

Es un modelo lineal que maximiza el beneficio social, incluyendo el beneficio percibido por los estudiantes a través de la calidad del servicio. El modelo decide dónde localizar escuelas (especificando tipo y nivel de precio que cobra) y la asignación de estudiantes de una zona específica a escuelas de una zona (caracterizados por precio y tipo). Algunas observaciones:

- El modelo realiza la optimización sin tomar en cuenta la situación actual (No se pueden modificar ni cerrar colegios existentes).
- La demanda es agregada y no a nivel de grados.
- El modelo no determina a qué escuela en específico asiste un alumno. Sólo entrega la fracción de alumnos que asisten desde una zona a escuelas de una zona, tipo y precio en particular.
- No se especifica la forma de la función de calidad, pero se dice que depende de los atributos:
  - Nivel de subsidio
  - Capacidad
  - Calidad académica
  - Calidad de infraestructura

“A model of schools locations: equilibrium and optimal solutions” (Martínez, F. et ál 2010) [12]

Resuelve el problema del consumidor (alumnos), maximizando la utilidad sujeto a una restricción presupuestaria y el problema del proveedor (colegios), maximizando la utilidad (los municipales tienen restricción de presupuesto). Con esto se obtiene la definición de la demanda por colegios y la oferta de colegios respectivamente.

Igualando oferta y demanda se obtienen precios de equilibrio

- Como las disposiciones a pagar de los consumidores y funciones de utilidad de los proveedores no son conocidos, se incorpora comportamiento estocástico: modelos logit para estimar esos comportamientos
- El modelo realiza la optimización sin tomar en cuenta la situación actual (no se pueden modificar ni cerrar colegios existentes)
- La demanda es agregada y no a nivel de grados de escolaridad.

“Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não-capacitado: caso de vitória/es” (Broseghini, F. et ál 2003) [6]

En este trabajo se resuelve a través de una heurística Lagrangeana un problema de p-mediana incluyendo capacidades de las escuelas. Las variables de decisión usadas corresponden a una que indica la apertura de escuelas en un sitio específico, y otra que indica a qué escuela deben ir los alumnos de cierta zona. La formulación utilizada en este problema tiene las siguientes observaciones:

- Como objetivo tiene solamente minimizar distancia viajada (no incluye costos ni el ámbito de la calidad)
- Se debe imponer a priori cuántas escuelas se van a abrir

- No se hace distinción entre los alumnos, ya sea por grupo socioeconómico o grado a cursar
- No toma en cuenta las escuelas existentes

Otros estudios revisados son Pizzolato y Fraga Da Silva 1997 [18], donde se hace uso de un modelo de p-mediana sin capacidad. Pizzolato *et ál* 2004 [19] donde se utiliza la p-mediana con y sin capacidad.

Varios de estos modelos no consideran capacidad para los establecimientos, por lo que necesariamente los alumnos asisten al más cercano. Pizzolato 1994 [17] resuelve un problema de localización de escuelas en zonas urbanas y propone una heurística para resolver problemas de medianas de gran tamaño. No obstante, al usar su modelo se debe indicar a priori el número de establecimientos a usar, lo cual no es deseable en nuestro caso, en que se desea también determinar el número de establecimientos como parte de la solución.

El modelo presentado en Antunes y Peeters 2000 [3] para rediseño de redes educacionales si toma en consideración la configuración inicial de las escuelas, pudiendo modificarla. Resuelve, con el procedimiento propuesto problemas con decenas de nodos de demanda. Desafortunadamente no es posible utilizar esta modelación, dado que el hecho de trabajar con demanda agregada (sin separación por grados) no produce resultados que representen adecuadamente la realidad chilena (ver sección 4.1, donde se muestra por qué los resultados no son satisfactorios usando esa visión). Además, los tamaños de problemas a resolver en el caso chileno son mucho mayores a los resueltos con ese enfoque: en el caso que se estudia, hay miles de puntos de concentración de demanda y centenares de posibles candidatos a localización de escuelas.

Las contribuciones del presente estudio son varias: se rediseña la situación actual de escuelas rurales en un caso real, cerrando un número limitado de escuelas y abriendo otras, minimizando el tiempo o costo de viaje y considerando un tiempo

de viaje límite que no puede ser sobrepasado por los niños. Adicionalmente, se redimensionan algunas de las escuelas, agregando o quitando cursos enteros (y profesores) cuando corresponde. A diferencia de la literatura existente, se enfoca la modelación al caso rural, considerando la situación actual, incluyendo la particularidad de las escuelas multigrado.

### **3 Especificación del Modelo de Localización.**

#### **3.1 Descripción del Modelo de Localización propuesto**

Al año 2007, existen 4.426 establecimientos rurales a lo largo del país, siendo la mayor parte de ellos municipales y particulares subvencionados (sólo el 0.5% del total corresponden a establecimientos particulares pagados). La mayor parte de la oferta rural se concentra en el sur del país, específicamente en las regiones IX y X donde se concentra el 45% del total de establecimientos; por otro lado las regiones de los extremos del país (XV, I, II, III, XI y XII) sólo reúnen el 4% del total del país. Esto plantea situaciones diversas que conducen a soluciones diferentes. Para resolver el problema de localización óptima de establecimientos educacionales rurales en Chile, se plantea un modelo de optimización, el cual entrega como resultado qué escuelas actuales deben mantener su estructura física y los cursos que imparten o deben modificarlos y qué escuelas deben abrirse o cerrarse y dónde. Junto a lo anterior, este modelo realiza una asignación de los alumnos a las distintas escuelas, es decir, determina a qué escuela muy probablemente debieran asistir los alumnos. Los resultados de este modelo minimizan los costos de transporte de los alumnos, más los costos de generación y operación de los establecimientos, a cargo de MINEDUC y los sostenedores de los establecimientos.

En la especificación de la función objetivo del problema de localización óptima no se incluyó medidas de la calidad de la educación (esto incluye la calidad del profesorado como aquella relacionada a la infraestructura de los establecimientos) o del rendimiento alcanzado por los alumnos, considerándose solamente los costos de transporte de los alumnos y de infraestructura y operación de los establecimientos, como se mencionó anteriormente. Esto se debe a que no se encontraron variables de infraestructura que explicaran en gran medida la calidad de la educación que tienen los establecimientos educacionales (ver Zuñiga, C.

2009. “Estudio de Variables que inciden en la Calidad y en la Elección de Establecimientos Rurales para el Desarrollo de un Sistema de Localización” [25]).

Los establecimientos educacionales rurales localizados óptimamente por el modelo están formados por unidades actualmente existentes y nuevas. Se definieron dos tipos de establecimientos actualmente existentes, separando aquellos con cursos mono-grados de los que tienen cursos multigrados. También existen siete tipos de escuelas nuevas, que cuentan con distintos niveles de enseñanza y combinación de éstos y también distinguiendo entre escuelas con cursos mono-grados de aquellas con cursos multigrados. Finalmente, se considera el tipo de establecimiento actual cerrado, el cual es el estado que toman aquellas escuelas existentes en un primer instante y de acuerdo a lo que indica el modelo ya no deberían seguir en funcionamiento.

Con esta estructura del modelo, en general cada alumno se asigna a su escuela más cercana siempre y cuando ésta tenga capacidad disponible. No obstante, es posible que alumnos se asignen a escuelas más lejanas si la capacidad de éstas lo permiten, y si los costos de operación de las escuelas más lejanas son lo suficientemente menores a los de las más cercanas, de modo de contrarrestar el incremento en los costos de transporte. En síntesis, lo que se busca es maximizar el beneficio social neto, incluyendo Gobierno, sostenedores y alumnos.

Como se ha mencionado anteriormente, con este modelo se evalúa el conjunto actual de escuelas, determinando si se deben abrir nuevos establecimientos, cerrar algunos centros existentes o transformarlos, por ejemplo, modificando la condición de sus cursos de multigrado a mono-grado. Las escuelas actuales pueden expandirse o contraerse, con lo cual terminan teniendo más (o menos) cursos de los que disponen inicialmente. Estas variaciones provocan también cambios en los costos operativos en comparación a los originales.

El problema de optimización que en términos generales se ha enunciado, tiene diversas restricciones. Una de ellas establece que en cada escuela existente se puede agregar o quitar hasta un número máximo de cursos de un determinado grado para hacer más eficiente su funcionamiento; esto se debe a que un

establecimiento no puede sobrepasar un tamaño límite y del mismo modo no se pueden quitar más cursos de los que existen. Otra restricción señala que se puede hacer uso del espacio físico (sala de clases) dejado por un curso que se elimina para su uso por otro curso que se agrega en la misma escuela. Por ejemplo, una escuela con 3 cursos de primer año básico y 1 de segundo básico puede transformarse en una escuela con 2 cursos de cada grado. Por otra parte, en el modelo se impone que las escuelas nuevas funcionen con un número mínimo de cursos, siendo posible solamente agregar nuevos cursos, pero no quitar algunos de estos. Por ejemplo, una nueva escuela de educación media tiene cursos de 1° a 4° medio, no siendo admisible quitar ninguno de ellos.

Tampoco es posible cerrar más de un número máximo predeterminado de escuelas, ni crear una escuela con muchos alumnos en cursos multigrados. Otras restricciones permiten reducir las opciones posibles de solución del problema, evitando la asignación de alumnos a cursos y establecimientos en situaciones inadmisibles.

Una restricción muy importante del modelo establece que todas las personas en edad escolar, distribuidas por área, asisten a alguna escuela, ya sea nueva o existente, asegurando que la oferta educacional satisfaga a la demanda.

Además, se incluye un conjunto de restricciones presupuestarias para la generación y modificación estructural de los establecimientos (costos de construcción escuelas nuevas y de expansión y transformación de las actuales, entre otros), junto a su operación (remuneraciones de profesores y personal, pago de matrícula de los alumnos) y el transporte de los alumnos entre su hogar y los establecimientos.

Al momento de aplicar el modelo a la situación actual en Chile, no se contó con información del presupuesto disponible para la implementación de los cambios estructurales que propone el modelo. No obstante, estas restricciones se consideran en la formulación e implementación del modelo, de modo que es posible utilizarlas en el futuro.

Otra característica del modelo es que permite ajustar la oferta cuando existen pequeñas cantidades de demanda en exceso. Si la demanda por abrir un nuevo curso de un grado existente en una escuela es pequeña, es posible asignar esos alumnos a un curso existente permitiendo sobrepasar levemente la capacidad previamente asignada al curso. Por ejemplo, si existen 2 cursos de primero básico con capacidad completa de 20 alumnos y hay 2 alumnos de este grado adicionales, no se abre un nuevo curso sino que estos alumnos son asignados a los que ya existen.

Por último, se introdujo la restricción de que un alumno no puede viajar más que una distancia máxima predeterminada desde su casa a su escuela.

Los lugares donde es posible abrir una escuela son definidos por un subconjunto predeterminado de entidades rurales<sup>3</sup> de cada región. En la mayoría de las regiones no es posible considerar la totalidad de las entidades rurales como lugares candidatos para la instalación de establecimientos nuevos, debido a que el problema de optimización resultante tiene un tamaño muy grande que lo hace inmanejable computacionalmente (ver sección 4.1). Por esta razón, se utiliza un sub-modelo complementario especificado en el capítulo 3.5 el que selecciona las entidades candidatas para albergar nuevos establecimientos educacionales rurales.

La solución que el modelo de optimización entrega corresponde a un año escolar completo, asumiéndose que los alumnos asisten regularmente a las escuelas, sin la existencia de deserciones escolares durante el año que obliguen a modificar a las escuelas.

---

<sup>3</sup> Una entidad rural es un asentamiento humano concentrado o disperso, en el que habitan menos de 2.000 personas, con menos del 50% de su Población Económicamente Activa dedicada a actividades secundarias y/o terciarias.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística

### **3.2 Supuestos y consideraciones del Modelo de Localización**

Todo modelo al igual que el desarrollado en este estudio está sujeto a supuestos y consideraciones. En este caso los principales son los siguientes:

1. El modelo entrega la configuración de establecimientos educacionales rurales y la asignación de alumnos a ellos desde sus lugares de residencia que minimiza los costos de generación y operación de los establecimientos y los costos de transporte de los alumnos sujeto a restricciones de factibilidad física, técnica y económica y a estándares predeterminados por el usuario. No entran en la optimización las subvenciones de los establecimientos (puesto que el número de alumnos es constante en el problema, luego la subvención total generada es constante). Los alumnos se asignan a los establecimientos a mínimo costo de transporte, no incluyendo otros factores que pudiesen influir sobre la elección de establecimiento educacional (rendimiento escolar, equipamiento del establecimiento, calidad de los profesores o del proceso educativo, etc). Esto se debe a que el modelo se enfoca en factores estructurales de los establecimientos, como su ubicación, tamaño y costos operacionales gruesos (como remuneraciones de docentes) y porque la elección y el rendimiento de los alumnos dependen en gran medida de los otros factores no considerados.
  
2. Por simplicidad, se asume que existe una competencia entre los establecimientos rurales y urbanos que se resuelve exógenamente al modelo, el cual trata solamente la localización de establecimientos educacionales rurales. Existen dos supuestos al respecto:
  - La demanda educacional residente en entidades urbanas se asigna solamente a establecimientos urbanos. Por lo tanto, a los

establecimientos rurales no concurren alumnos residentes en áreas urbanas.

- La demanda educacional residente en entidades rurales se asigna en una parte a establecimientos rurales y en otra a establecimientos urbanos. Además, se asume que la fracción de la población rural absorbida por establecimientos rurales, es conocida a priori y es un parámetro del modelo. De este modo, se asume que los mercados educacionales rural y urbano están segregados y el modelo desarrollado en este estudio trata solamente el primero.
3. En la formulación del modelo, no se estableció ninguna diferenciación de la demanda educacional por grupo socioeconómico, ni de las entidades o establecimientos dependiendo de la provincia o comuna a la cual pertenecen.
  4. El horizonte del problema es anual, por lo que todos los costos deben ser trabajados en esta unidad de tiempo. Se debe tener especial consideración con las inversiones las cuales son llevadas a una cuota anual (Ver capítulo 4.3)
  5. El problema de localización se descompone por región del país, resolviéndose en cada una de estas por separado. Esto se realiza para permitir la resolución numérica de este problema, ya que el tamaño del problema único a nivel país es demasiado grande.
  6. Se excluye del modelo de localización algunas entidades y establecimientos educacionales rurales que se encuentran aislados por vía terrestre, como islas, caletas o fiordos. En estos casos, se asume que la demanda es cautiva por los establecimientos existentes. También se excluyen del

estudio los establecimientos que realizan educación a adultos y a niños con atención especial; estos representan un 2% del total de establecimientos a lo largo del país. Se considera que estas situaciones se deben tratar caso a caso, teniendo presente consideraciones que escapan del alcance del modelo de localización desarrollado en este estudio.

7. La ubicación de la demanda educacional rural se representa por el punto que localiza cada entidad rural en la región. Por su parte, la ubicación de los establecimientos educacionales corresponde al punto exacto de su localización en la región. Para el caso de los establecimientos candidatos, estos se localizan en los puntos de demanda, es decir, se homologa su ubicación a los puntos de las entidades rurales seleccionadas.
8. Los lugares donde es posible abrir establecimientos en cada región no corresponden a todas las entidades, sino que a un subconjunto de estas, el cual debe definirse previamente antes de resolver el problema de localización óptima. Se propuso un sub-modelo para definir los lugares candidatos a abrir establecimientos (Ver capítulo 3.5). No obstante, el planificador puede incluir otros lugares como posibles candidatos y/o eliminar lugares candidatos que considere inapropiados. Es importante indicar que no necesariamente en todos los lugares candidatos se abre un establecimiento educacional, lo cual depende de la demanda existente y de los costos que signifique hacerlo.
9. Los establecimientos educacionales se clasifican en tipos diferentes. Estos son:
  - Existente y sólo con cursos mono-grado.
  - Existente y sólo con cursos multigrado.
  - Nuevo y sólo con educación preescolar y cursos mono-grado.
  - Nuevo y sólo con educación básica y cursos mono-grado.

- Nuevo y sólo con educación media y cursos mono-grado.
- Nuevo y sólo con educación preescolar y básica y cursos mono-grado.
- Nuevo y sólo con educación básica y media y cursos mono-grado.
- Nuevo y sólo con educación preescolar, básica y media y cursos mono-grado.
- Nuevo y sólo con educación básica hasta 6° grado y cursos multigrado.
- Cerrado: Si la escuela existe y se decide cerrarla.

Las escuelas que poseen enseñanza media técnico profesional, son incluidas dentro del nivel de enseñanza media antes indicada, porque no es posible diferenciar la demanda por estas especialidades laborales.

No se realiza una segmentación por tipo de dependencia para ser modelada en la optimización. Esto se debe a que existen muy pocas escuelas particulares pagadas (sólo 0.5% del total) y las demás no presentan diferencias en las subvenciones a recibir.

10. Los grados que ofrecen los establecimientos actualmente existentes pueden modificarse tras la aplicación del modelo, respetando el nivel de enseñanza al cual pertenecen. Sin embargo, las nuevas escuelas contienen al menos un curso de cada grado del nivel de enseñanza considerado. Por ejemplo, una escuela de educación media tiene al menos 4 cursos: 1°, 2°, 3° y 4° medio. Ciertamente, en establecimientos actualmente existentes y nuevos se pueden generar más de un curso por grado, considerándose las salas requeridas.

11. Se asume que las escuelas actualmente existentes pueden agregar un número máximo de cursos. Por su parte, se impone que cada escuela nueva empieza con una cantidad determinada de cursos (dada por el tipo de enseñanza a impartir), pudiendo agregarse hasta un número máximo de

cursos extras si es que la demanda así lo requiriera. Esto se realiza pues es más complejo modificar las escuelas antiguas que especificar las nuevas.

12. La demanda educacional de cada entidad rural que concurre a un establecimiento rural se desagrega por grado escolar para así estimar el número requerido de cursos por grado. Para ello, se estima una relación directa entre grado escolar y la edad simple de sus alumnos.

13. En el modelo se supone que no existe deserción escolar, de modo que se calculan los recursos físicos y operacionales necesarios para atender a todos los alumnos a lo largo de todo el año en forma continua.

14. Los alumnos de cada entidad rural poblada se asignan a uno de los 30 establecimientos rurales existentes más cercanos o a uno de los 30 puntos candidatos más cercanos (representados geográficamente por entidades), donde nuevos establecimientos podrían ser abiertos. Así se evita considerar todos los establecimientos en cada región debido a que en tal caso el problema tiene un tamaño demasiado grande para resolverse computacionalmente; esto es debido a que varias variables y restricciones están en función del número total de escuelas por lo que al tener más establecimientos crece el problema.

15. Para estimar la demanda rural se utilizó el siguiente enfoque:

1. Se obtiene la proyección del INE de la población comunal en edad escolar en el año  $t$ .
2. Se estima la población en edad escolar por entidad rural de cada comuna en el año  $t$ , distribuyendo la proyección anterior con los mismos porcentajes de distribución con los que se reparte la población en edad escolar por entidad rural de la

comuna dentro del total comunal en el año 2002 observados en el Censo de Población y Vivienda de ese año. En el caso en que el año  $t$  la matrícula rural (demanda observada) sea conocida, se distribuye por entidad de la misma forma ajustándose de esta forma la demanda.

3. Si se quiere estimar un año  $t$  futuro, donde no se dispone de una demanda observada, la población estimada en el punto anterior debe reducirse a la que concurre a establecimientos rurales, mediante la aplicación de un modelo de atractividad urbana que determina qué fracción de la demanda rural es absorbida por establecimientos urbanos.

16. El costo de los profesores asociados a un curso que se agrega a una escuela existente o a una escuela nueva se calcula como el máximo costo de un profesor de la región en cuestión. Esto se realiza con el fin de no generar incentivos a cerrar escuelas con profesores cuyo sueldo es superior al promedio y así disminuir las remuneraciones promedio de los profesores del sistema.

### **3.3 Especificación detallada del Modelo de Localización**

En esta sección se presenta la formulación matemática del modelo, en detalle con sus variables, restricciones y la función objetivo.

#### **3.3.1 Índices del Modelo de Localización**

- a*: Área geográfica (corresponde a las entidades de población)
- h*: Tipos de hogares definidos por características socio-económicas (e.g., nivel de ingresos). Como se indicó en capítulo 3.2, en este modelo se ha

considerado sólo un grupo, pudiendo obviarse este índice. Sin embargo, se mantiene para permitir en un futuro considerar diferentes tipos de hogares.

*c:* Comunidad, es una agregación de población y lugares, para definir presupuestos principalmente. En este caso específico, se considera cada región como una comunidad.

*l:* Lugares donde es posible localizar establecimientos. Estos lugares corresponden a los de las escuelas existentes y algunas entidades, escogidas previamente, donde pueden establecerse nuevos establecimientos.

*g, g<sup>2</sup>:* grados escolares

1. Preescolar
2. Primero Básico
3. Segundo Básico
4. Tercero Básico
5. Cuarto Básico
6. Quinto Básico
7. Sexto Básico
8. Séptimo Básico
9. Octavo Básico
10. Primero Medio
11. Segundo Medio
12. Tercero Medio
13. Cuarto Medio

*t:* tipo de escuela

1. existente con cada nivel separado (mono-grado)
2. existente con los niveles juntos (multigrado)

3. nueva mono-grado con educación preescolar
4. nueva mono-grado con educación básica
5. nueva mono-grado con educación media
6. nueva mono-grado con educación preescolar y básica
7. nueva mono-grado con educación básica y media
8. nueva mono-grado con educación preescolar, básica y media
9. nueva multigrado de educación básica de 1º a 6º grado
10. cerrada

### 3.3.2 Conjuntos de índices del Modelo de Localización

$t \in in_l$	Tipos de escuelas que son opciones en lugar $l$
$l \in new$	Conjuntos de lugares (entidades candidatas) para escuelas nuevas
$g' \in grade_{gt}$	Grados que pueden estar junto con grado $g$ para escuela tipo $t$ (en caso de haber multigrado)
$a \in SA_c$	Conjunto de áreas geográficas que son parte de la comunidad $c$
$l \in SL_c$	Conjunto de lugares escolares que son parte de la comunidad $c$
$(l, t) \in GO_{ah}$	Tipos de escuelas que son opciones para estudiantes en el área $a$ , de clúster familiar $h$
$g \in ed_t$	Conjunto de grados escolares que pertenecen al tipo de educación $t$
$l \in candidatos_a$	Conjunto de escuelas (existentes y nuevas) que son candidatas para los alumnos del área $a$

### 3.3.3 Parámetros del Modelo de Localización

- Costos [unidades]

$cost_{lt}$  Costo de escuela tipo  $t$  en lugar  $l$  [\$/]. Este contiene componentes fijas y variables, dependiendo de la decisión a tomar para la escuela.

Este costo incluye:

- Costo fijo de remuneraciones de profesores ( $cost_{lt}^1$ )
- costo de convertir un tipo a otro ( $cost_{lt}^2$ ). Se incurre sólo si una escuela pasa de multigrado a monogrado o viceversa.
- costo de abrir una nueva escuela ( $cost_{lt}^3$ ): costo de suelo, construcción, equipamiento (mesas, sillas, computadores, etc.)
- costo de cerrar una escuela existente ( $cost_{lt}^4$ ): indemnizaciones, ingreso por liquidación de infraestructura y equipamiento.
- Costo fijo de remuneración del director ( $cost_{lt}^f$ )

$costadd_{lgt}$  Costo de expandir otra clase en lugar  $l$ , escuela tipo  $t$ , grado  $g$  [\$/]

Este costo incluye:

- costo de operaciones (remuneración de profesor) ( $costadd_{lgt}^1$ )
- costo de construir ( $costadd_{lgt}^2$ )

$costsub_{lgt}$  Costo de eliminar otra clase en lugar  $l$ , escuela tipo  $t$ , grado  $g$  [\$/]

Este costo incluye:

- costo de operaciones (negativo si hay ahorros) ( $costsub_{lgt}^1$ )
- costo de eliminar personal ( $costsub_{lgt}^2$ )

$csend_{agl}$  Costo por cada estudiante de grado  $g$ , que vive en  $a$  y asiste a escuela en  $l$  [\$/estudiante]

Este costo variable incluye:

- transporte ( $csend_{agl}^1$ ): viaje hogar-escuela.
- costo de operaciones ( $csend_{agl}^2$ ): matrícula, mensualidad.

$penalty_{lgt}$  Costo incurrido al sobrepasar la capacidad inicial de un curso (teniendo más alumnos de lo presupuestado) [\$/].

- Presupuestos [unidades]

$tbudget_c$	Presupuesto total para la comunidad $c$ [\\$]
$ibudget_c$	Presupuesto de implementación (incluye costo de construcción y cierre de escuelas) para la comunidad $c$ [\\$]
$obudget_c$	Presupuesto de operaciones (incluye costos fijos y variables para la infraestructura y personal) para la comunidad $c$ [\\$]
$bbudget_c$	Presupuesto de transporte (incluye costos variables para transporte de estudiantes) para la comunidad $c$ [\\$]

- Otros parámetros [unidades]

$pop_{agh}$	Población de grado $g$ , en el área $a$ de clúster familiar $h$ [estudiantes]
$class_{igt}$	Capacidad de escuela tipo $t$ en lugar $l$ para grado $g$ [cursos]
$n_{lt}$	Número total de cursos que uno puede agregar a la capacidad actual, a escuela tipo $t$ en lugar $l$ [cursos]
$limit_{igt}$	Porcentaje máximo a aumentar la capacidad de los cursos de grado $g$ en escuela tipo $t$ en lugar $l$
$mult_{max}$	Número máximo de alumnos que puede tener una escuela multigrado
$cierre_{max}$	Número máximo de escuelas que pueden cerrarse
$maxtime_{ag}$	Máximo tiempo de transporte de un estudiante de área $a$ y grado $g$ [minutos]
$time_{al}$	Tiempo de viaje desde área $a$ al lugar $l$ [minutos]
$csize_{igt}$	Tamaño de clase de curso de grado $g$ en escuela tipo $t$ en lugar $l$ [estudiantes]

### 3.3.4 Variables del Modelo de Localización

$X_{lt}$	1 si la escuela de tipo $t$ está situada en lugar $l$ y cero de lo contrario
----------	--

$Y_{aghit}$	Fracción de estudiantes de área $a$ , clúster $h$ , grado $g$ , asistiendo a escuela de tipo $t$ en lugar $l$
$ADD_{lgt}$	Número de clases de grado $g$ a ingresar a escuela tipo $t$ en lugar $l$
$SUB_{lgt}$	Número de clases de grado $g$ a eliminar en escuela tipo $t$ en lugar $l$
$s_{lgt}$	Porcentaje extra para agregar a cursos existentes de grado $g$ en escuela tipo $t$ en lugar $l$ (variable de holgura)

### 3.3.5 Función objetivo del Modelo de Localización

#### “Minimización de Costo Total”

$$\begin{aligned}
 \text{Min} \quad & \sum_{l,t} \text{cost}_{lt} X_{lt} + \sum_{a,g,h,l,t} \text{csend}_{agl} \text{pop}_{agh} Y_{aghit} \\
 & + \sum_{l,g,t} \text{costadd}_{lgt} ADD_{lgt} + \sum_{l,g,t} \text{costsub}_{lgt} SUB_{lgt} \\
 & + \sum_{l,g,t} \text{penalty}_{lgt} s_{lgt}
 \end{aligned}$$

El primer término de la suma corresponde a los costos totales incurridos por cada colegio (tanto operación, inversión, cierre, etc.), el siguiente término corresponde al costo incurrido por los alumnos (tanto en traslado desde sus hogares a la escuela, como otros costos como matrícula), el tercer y cuarto término corresponden a los costos incurridos en agregar y quitar cursos de una escuela.

Por último, se incluye la penalidad de tener cursos un poco más grandes que la capacidad original (por ejemplo si los cursos fueran de 20 alumnos y se tiene una

demanda de 22, no se crean 2 cursos sino que un solo curso con 22 alumnos), si la penalización es menor que el ahorro en costos.

### 3.3.6 Restricciones del Modelo de Localización

- Para cada lugar donde existe una escuela se debe localizar un solo tipo entre los admisibles

$$\sum_{t \in in_l} X_{lt} = 1 \quad \forall l \notin new \quad (1)$$

- Para cada lugar candidato se debe localizar a lo más un solo tipo entre los admisibles

$$\sum_{t \in in_l} X_{lt} \leq 1 \quad \forall l \in new \quad (2)$$

- Cada estudiante asiste a una escuela y sólo a una

$$\sum_{(l,t) \in GO_{ah}} Y_{aght} = 1 \quad \forall a, g, h \quad (3)$$

- Es posible aumentar y disminuir la capacidad de cursos por grado en cada escuela. Se incluye la variable de holgura  $s$ , de modo de no agregar un curso completo si hay pocos alumnos que quedaron fuera de los cursos existentes.

#### Caso Multigrado

$$\sum_{a, g' \in grade_{gt, h}} \frac{pop_{ag'h} Y_{ag'ht}}{csize_{lg't}} \leq \sum_{g' \in grade_{gt}} class_{lg't} X_{lt} + \sum_{g' \in grade_{gt}} ADD_{lg't} - \sum_{g' \in grade_{gt}} SUB_{lg't} + s_{lg't} \quad \forall l, g \quad \forall t \text{ multigrado} \quad (4)$$

## Caso Mono-grado

$$\sum_{a,h} \frac{pop_{agh} Y_{aght}}{csize_{lgt}} \leq class_{lgt} X_{lt} + ADD_{lgt} - SUB_{lgt} + s_{lgt} \quad \forall l, g \quad \forall t \text{ monogrado} \quad (4')$$

- No se puede exceder la adición máxima de cursos por escuela. Los cursos agregados en una escuela es a lo más el límite de salas que se pueden crear (dado por  $n_{lt}$ ) más los cursos que se eliminaron, dejando salas de clase que pueden ser ocupadas por otros grados.

$$\sum_g ADD_{lgt} \leq n_{lt} X_{lt} + \sum_g SUB_{lgt} \quad \forall l, t \quad (5)$$

- No se puede exceder el presupuesto total. Los costos de operaciones, implementación, transporte, agregar y quitar cursos, deben estar dentro del presupuesto de cada comunidad.

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in SL_{c,t}} cost_{lt} X_{lt} + \sum_{a \in SA_{c,g,h}, l \in SL_{c,t}} csend_{agl} pop_{agh} Y_{aght} \\ + & \sum_{l \in SL_{c,g,t}} costadd_{lgt} ADD_{lgt} + \sum_{l \in SL_{c,g,t}} costsub_{lgt} SUB_{lgt} \leq tbudget_c \quad \forall c \quad (6) \end{aligned}$$

- No se puede exceder el presupuesto de implementación

$$\begin{aligned} & \sum_{l \in SL_{c,t}} (cost_{lt}^2 + cost_{lt}^3 + cost_{lt}^4) X_{lt} + \sum_{l \in SL_{c,g,t}} costadd_{lgt}^2 ADD_{lgt} \\ & + \sum_{l \in SL_{c,g,t}} costsub_{lgt}^2 SUB_{lgt} \leq ibudget_c \quad \forall c \quad (7) \end{aligned}$$

- No se puede exceder el presupuesto de operaciones

$$\sum_{l \in SL_c, t} cost_{lt}^1 X_{lt} + \sum_{a \in SA_c, g, h, l \in SL_c, t} csend_{agl}^2 pop_{agh} Y_{aght}$$

$$+ \sum_{l \in SL_c, g, t} costadd_{lgt}^1 ADD_{lgt} + \sum_{l \in SL_c, g, t} costsub_{lgt}^1 SUB_{lgt} \leq obudget_c \quad \forall c \quad (8)$$

- No se puede exceder el presupuesto de transporte

$$\sum_{a \in SA_c, g, h, l \in SL_c, t} csend_{agl}^1 pop_{agh} Y_{aght} \leq bbudget_c \quad \forall c \quad (9)$$

- Sólo se puede quitar un máximo de cursos (no se pueden quitar más cursos de los que existen inicialmente)

$$SUB_{lgt} \leq X_{lt} class_{lgt} \quad \forall l, g, t \quad (10)$$

- Sólo existe holgura si el colegio está funcionando (y es a lo más un porcentaje del curso a definir)

$$s_{lgt} \leq X_{lt} limit_{lgt} \quad \forall l, g \quad \forall t \neq cerrado \quad (11)$$

- Una escuela nueva no puede ser multigrado si sobrepasa un cierto número de alumnos asistiendo (si la escuela es grande debe ser mono-grado)

$$\sum_{a, g, h} pop_{agh} Y_{aght} \leq mult\_max \quad \forall l \in new, \forall t \in multigrado \quad (12)$$

- No se puede cerrar más de un determinado número de colegios, establecido por el ministerio

$$\sum_{l, t \in cerrado} X_{lt} \leq cierre\_max \quad (13)$$

- La variable de holgura sólo puede existir para un grado de una escuela determinada, si ésta tiene cursos de este grado en particular.

$$\begin{aligned} class_{lgt} + ADD_{lgt} - SUB_{lgt} \geq s_{lgt} \quad \forall l \in new \\ \forall t, \forall g \in ed_t \quad (14) \end{aligned}$$

- Un estudiante no puede viajar muy lejos. Si el tiempo de viaje de un alumno a una escuela es mayor a lo establecido, no se realiza esta asignación.

$$Y_{aghl} = 0 \quad si \quad time_{al} > maxtime_{ag} \quad \forall a, g, h, l, t \quad (15)$$

- No se puede realizar asignación a tipos de escuela que no son opciones para un determinado lugar

$$\sum_{t \notin in_l} Y_{aghl} = 0 \quad \forall a, g, h, l \quad (16)$$

- No se puede realizar asignación a grados de escuelas que no pertenecen al tipo de educación establecido

$$\sum_{g \notin ed_t} Y_{aghl} = 0 \quad \forall a, h, l, t \quad (17)$$

- No se puede realizar asignación a escuelas que no son candidatas para un área determinada

$$\sum_{l \notin candidatos_a} Y_{aghl} = 0 \quad \forall a, g, h, t \quad (18)$$

- En las escuelas nuevas no es posible quitar cursos. En ellas se parte de una configuración inicial y sólo pueden ser expandidas.

$$\sum_{l \in \text{new}, g, t} SUB_{lgt} = 0 \quad (19)$$

- Naturaleza de las variables

$$Y_{aghl} \geq 0 \quad \forall a, g, h, l, t$$

$$ADD_{lgt} \geq 0, SUB_{lgt} \geq 0 \text{ y enteros } \forall l, g, t \quad (20)$$

$$X_{lt} \in \{0,1\} \quad \forall l, t$$

### 3.4 Limitaciones del Modelo de Localización

El modelo cuenta con una serie de supuestos, los cuales deben tenerse presente al momento de evaluar sus resultados porque dependiendo del propósito de uso del modelo pueden causar algunas limitaciones. Algunos de ellos son:

- El modelo clasifica las escuelas (tanto existentes como nuevas) en establecimientos mono-grado o multigrado; sin la posibilidad de tener establecimientos mixtos. Existen 1167 escuelas que presentan esta característica, no obstante los cursos multigrado que albergan son pocos, en promedio sólo tienen 2, como se puede apreciar en la siguiente tabla.

**Tabla 1.** Establecimientos educaciones según régimen de cursos simples o multigrados.

Tipo de Establecimiento	Número de Establecimientos	Promedio de Cursos Simples	Promedio de Cursos Multigrado
Mono-grado	669	9.9	0
Mono-grado y Multigrado	1167	4.5	2
Multigrado	2590	0	1.5
<b>Total</b>	<b>4426</b>	<b>2.7</b>	<b>1.4</b>

Fuente: Elaboración propia.

- Se consideran estructuras lineales de los costos, es decir los costos unitarios son constantes.
- La demanda por grado siempre es estimada, por lo tanto, puede transformarse en la principal fuente de error del modelo.
- Los alumnos se asignan a la escuela con capacidad disponible que minimicen sus costos de viaje. En este modelo no se consideran diferencias de calidad o de otra índole que impongan otro patrón de comportamiento.
- Un alumno sólo puede ser asignado a una de las 30 escuelas existentes más cercanas que tenga disponible o a alguna escuela nueva.
- Debido a restricciones técnicas del hardware utilizado, el conjunto de establecimientos y entidades rurales a optimizar no debe ser mayor a 2.500 nodos de población y 500 escuelas, localizadas en cada región. Si alguna de éstas presenta un número mayor de establecimientos y/o entidades, se debe dividir la región en zonas, de modo de poder resolver el problema.

### **3.5 Especificación del Modelo de Selección de Candidatos a Escuelas**

Dentro de cada región existe un gran número de entidades. Para determinar qué entidades pueden ser candidatas a abrir una nueva escuela se aplicó el siguiente procedimiento:

1. Se calcula la distancia (a través de la red vial) entre cada entidad y el resto de entidades o escuelas que estén a menos de 10 kilómetros. Si una entidad no tiene ninguna otra entidad o colegio cerca, automáticamente pasa a ser candidata.

2. Se revisa la demanda (dada por población en edad escolar o matrícula) de cada entidad, y las que tengan más de 100 alumnos pasan a ser candidatas.

Luego, se aplica el siguiente modelo basado en la formulación de los problemas clásicos de Location Set Covering, de modo de saber qué entidades pequeñas (menos de 100 niños) pueden ser candidatas. Como se revisó en el capítulo 2.2.1, este tipo de modelos busca minimizar el costo total de instalaciones, satisfaciendo un nivel de servicio requerido para todos los puntos de demanda.

### 3.5.1 Índices del Modelo de Selección

- $i$  : Entidades
- $j$  : Entidades más escuelas rurales existentes

### 3.5.2 Variables de Decisión

- $X_j$  : 1 si la entidad  $j$  es candidato; 0 si no.

### 3.5.3 Parámetros

- $C_j$  : 1 si indica si la entidad es candidata a priori (entidades grandes) y si la escuela rural tiene más de 100 alumnos matriculados.
- $N_i$ : conjunto de entidades y escuelas rurales que están a menos de 3 km de la entidad  $i$ .

### 3.5.4 Función Objetivo

- Minimizar el número de candidatos

$$\text{Min} \sum_j X_j$$

### 3.5.5 Restricciones

- Cada entidad debe tener al menos un candidato cerca

$$\sum_{j \in N_i} X_j + \sum_{j \in N_i} C_j \geq 1 \quad \forall i$$

- Naturaleza de las variables

$$X_j \in \{0,1\} \quad \forall j$$

Con esto se asegura que todas las entidades de la región tienen cerca ya sea una escuela con una matrícula mayor a 100 alumnos o un sitio en el que es posible edificar un nuevo establecimiento.

## 4 El caso aplicado: Escuelas Rurales en Chile

### 4.1 Descripción General

A petición del Ministerio de Educación de Chile, se aplicó el modelo a todo el país, de modo de determinar el diseño óptimo del sistema escolar rural de Chile. En el país, hay actualmente 26.021 entidades<sup>4</sup> de población y 4.165 escuelas, tanto municipales como particulares subvencionadas, ambas entidades georeferenciadas espacialmente.

**Figura 1.** Mapa de Chile regionalizado.



<sup>4</sup> Una entidad rural es un asentamiento humano concentrado o disperso, en el que habitan menos de 2.000 personas, con menos del 50% de su Población Económicamente Activa dedicada a actividades secundarias y/o terciarias.

Fuente: Instituto Nacional de Estadística

**Tabla 2.** Datos de población e infraestructura rural por región.

Región	Población Urbana	Población Rural	Población Rural Asistiendo a Escuelas Rurales	Entidades Rurales	Escuelas Rurales	Escuelas Multigrado
I	403,138	25,456	3,258	304	59	40
II	482,546	11,438	572	84	17	12
III	232,619	21,717	2,671	283	44	33
IV	470,922	132,288	20,254	1,436	388	267
V	1,409,902	129,950	22,653	1,231	208	159
VI	548,584	232,043	29,410	2,286	272	272
VII	603,020	305,077	43,755	3,882	474	282
VIII	1,528,306	333,256	46,691	4,592	676	470
IX	588,408	281,127	37,576	4,252	844	644
X	734,379	338,756	29,842	5,127	987	727
XI	73,607	17,885	1,513	236	22	9
XII	139,669	11,157	308	117	9	6
RM	5,875,013	186,172	60,101	2,191	165	26

Fuente: CENSO 2002 [10], Directorio de Establecimientos Educativos [13]

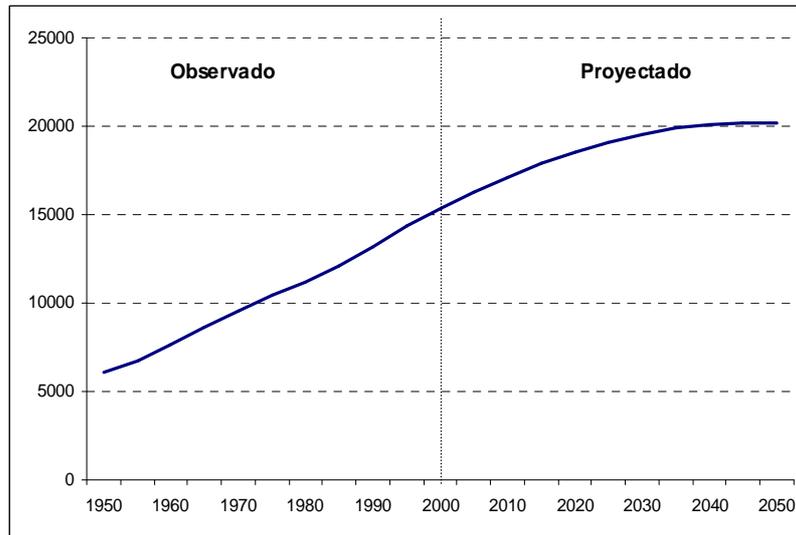
**Observación:** A partir de 2007, se crearon 2 nuevas regiones en Chile XIV Región de Valdivia (anteriormente perteneciente a la X) y XV Región de Arica (anteriormente perteneciente a la I) [1]. Se presentan los resultados del CENSO en las regiones existentes en el año 2002 a modo de referencia, pero se trabaja con las 15 regiones.

Según las últimas observaciones y proyecciones realizadas por el Instituto Nacional de Estadísticas [2], la población chilena está en un proceso de envejecimiento. La brecha existente entre las tasas de natalidad y mortalidad cada vez se va haciendo menor, por lo que se espera que en los próximos años el porcentaje de niños en la población sea menor al actual.

Estos últimos antecedentes se agregan a los datos entregados por MINEDUC, de forma de preguntarse cómo debería ser la distribución actual de escuelas, dado que no se espera un crecimiento sostenido de la demanda, pues las proyecciones de natalidad así lo indican. En otras palabras, la oferta total actual debería ser

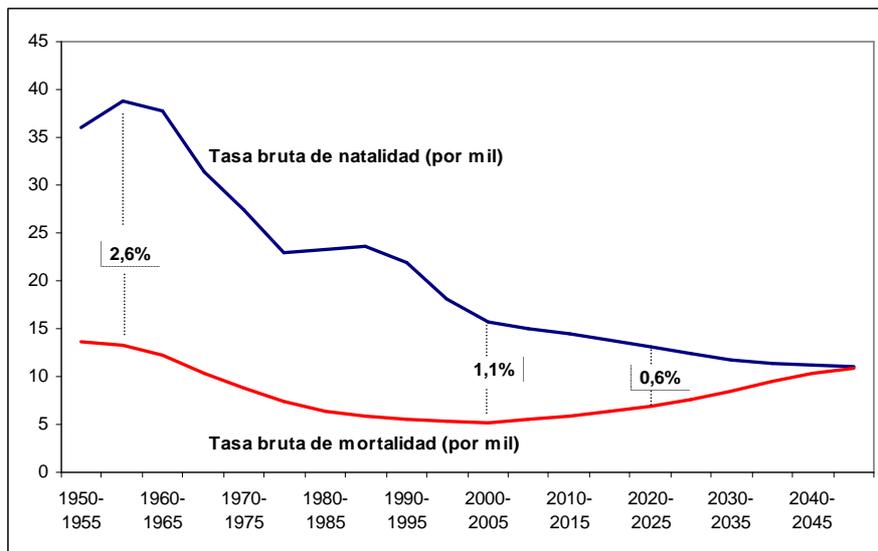
suficiente para suplir la demanda futura proyectada, pero podría estar mal localizada.

**Gráfico1.** Evolución de la población total al 30 de junio de 2005, 1950-2050 (en miles de personas)



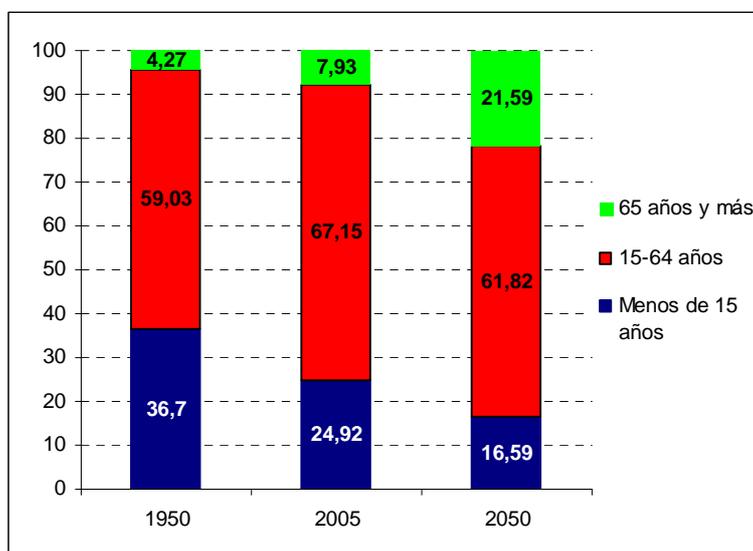
Fuente: Las Nuevas Proyecciones de Población [2]

**Gráfico 2 .** Evolución de las tasas de natalidad y mortalidad, por quinquenio, 2000 – 2050 (por mil habitantes)



Fuente: Las Nuevas Proyecciones de Población [2]

**Gráfico 3.** Evolución de la estructura de la población por grandes grupos de edad 1950-2050 (en porcentajes)



Fuente: Las Nuevas Proyecciones de Población [2]

En la mayoría de las regiones no fue posible considerar la totalidad de las entidades rurales como lugares candidatos para la instalación de establecimientos nuevos, debido a que el problema de optimización resultante sigue siendo de gran tamaño. Por esta razón, para las regiones más grandes, se utilizó un modelo complementario el cual selecciona los candidatos más aptos a localización de nuevas escuelas, disminuyéndose así el número de candidatos por región a un promedio de 11% del total de entidades existentes (ver Tabla 3 para los detalles por región). El modelo complementario fue detallado en 3.5.

**Tabla 3.** Tamaño del problema por región.

<b>Región</b>	<b>Nº Entidades</b>	<b>Nº Escuelas</b>	<b>Nº Escuelas Multigrado</b>	<b>Nº Candidatos</b>
XV	155	22	15	155
I	149	37	25	149
II	84	17	12	84
III	283	44	33	283
IV	1,436	388	267	154
V	1,231	208	159	58
RM	2,191	165	26	45
VI	2,286	272	272	84
VII	3,882	474	282	185
VIII	4,592	676	470	290
IX	4,252	844	644	293
X	3,225	612	448	694
XIV	1,902	375	279	121
XI	236	22	9	236
XII	117	9	6	117

Fuente: Elaboración propia.

Para ejemplificar el tamaño del problema y su impacto en la resolución computacional, se puede mirar la séptima región, donde se debe tratar con 332.834.540 variables, de las cuales 177.930 corresponden a variables enteras.

**Tabla 4.** Tamaño del problema por región, asociado a los índices del modelo.

Región	a (entidades)	g (grados)	h (G.S.O.)	l (escuelas y candidatos)	y t (tipos de escuelas)
XV	155	13	1	177	10
I	149	13	1	186	10
II	84	13	1	101	10
III	283	13	1	327	10
IV	1,436	13	1	542	10
V	1,231	13	1	266	10
RM	2,191	13	1	210	10
VI	2,286	13	1	356	10
VII	3,882	13	1	659	10
VIII	4,592	13	1	966	10
IX	4,252	13	1	1,137	10
X	3,225	13	1	1,306	10
XIV	1,902	13	1	496	10
XI	236	13	1	258	10
XII	117	13	1	126	10

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 5.** Tamaño del problema por región, en número de variables.

Región	$X_{lt}$	$Y_{aght}$	$ADD_{lgt}$	$SUB_{lgt}$	$s_{lgt}$	Variables Enteras	Total Variables
XV	1,770	3,566,550	23,010	23,010	23,010	47,790	3,637,350
I	1,860	3,602,820	24,180	24,180	24,180	50,220	3,677,220
II	1,010	1,102,920	13,130	13,130	13,130	27,270	1,143,320
III	3,270	12,030,330	42,510	42,510	42,510	88,290	12,161,130
IV	5,420	101,180,560	70,460	70,460	70,460	146,340	101,397,360
V	2,660	42,567,980	34,580	34,580	34,580	71,820	42,674,380
RM	2,100	59,814,300	27,300	27,300	27,300	56,700	59,898,300
VI	3,560	105,796,080	46,280	46,280	46,280	96,120	105,938,480
VII	6,590	332,570,940	85,670	85,670	85,670	177,930	332,834,540
VIII	9,660	576,663,360	125,580	125,580	125,580	260,820	577,049,760
IX	11,370	628,488,120	147,810	147,810	147,810	306,990	628,942,920
X	13,060	547,540,500	169,780	169,780	169,780	352,620	548,062,900
XIV	4,960	122,640,960	64,480	64,480	64,480	133,920	122,839,360
XI	2,580	7,915,440	33,540	33,540	33,540	69,660	8,018,640
XII	1,260	1,916,460	16,380	16,380	16,380	34,020	1,966,860

Fuente: Elaboración propia.

Luego, para poder tener una solución usando un computador estándar<sup>5</sup> en las regiones con más variables (VII, VIII, IX y X) se realizó una división de modo de resolver el problema por partes. Para cada una de ellas se tomaron como límites cortes naturales, como por ejemplo ríos.

Así, la configuración en estas sub-regiones queda según la siguiente tabla:

**Tabla 6.** Tamaño del problema por sub-región.

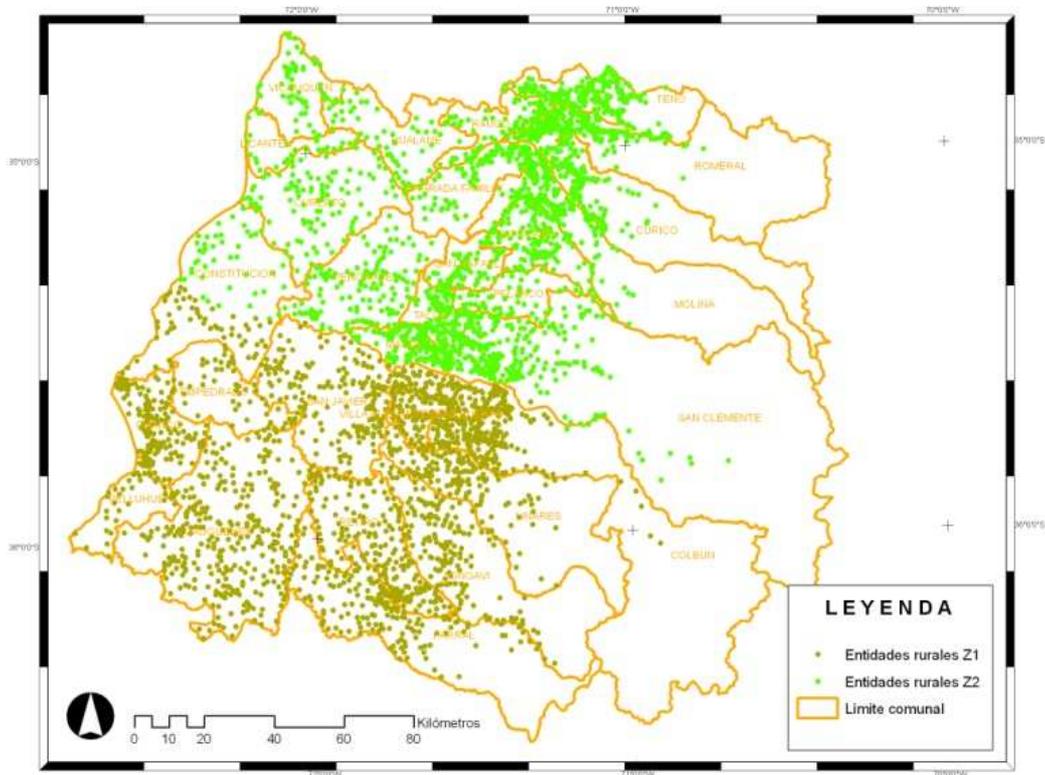
Región	Entidades	Escuelas	Escuelas Multigrado	Candidatos
VII 1	2,079	255	141	82
VII 2	1,803	219	141	103
VII	3,882	474	282	185
VIII 1	2,005	272	185	101
VIII 2	2,587	404	285	189
VIII	4,592	676	470	290
IX 1	1,958	394	314	156
IX 2	2,294	450	330	137
IX	4,252	844	644	293
X 1	1,955	202	143	81
X 2	708	209	152	51
X 3	66	13	12	66
X 4	496	188	141	496
X	3,225	612	448	694

Fuente: Elaboración propia.

En la VII Región, la división se muestra en las siguientes figuras. En este caso, se aprecia que el río Maule actúa como división natural de la región.

<sup>5</sup> Se utilizó un equipo con procesador Dual Core T3200, 2 GHz, 2 GB Ram y 10 GB libre en disco.

**Figura 2.** Vista de la división de la VII Región



Fuente: Elaboración propia.

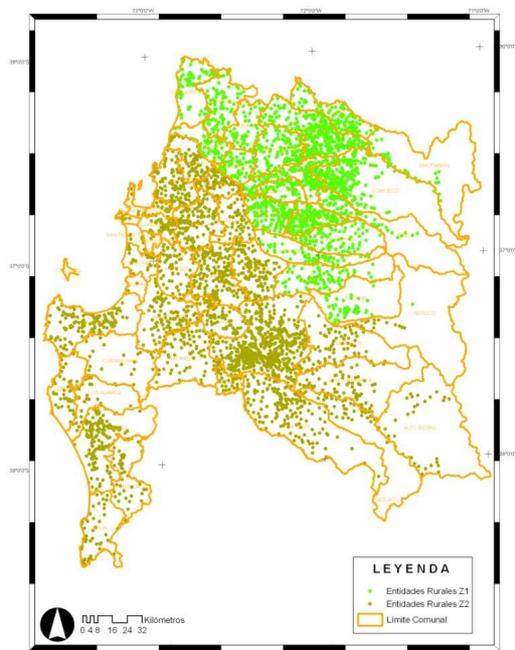
**Figura 3.** Vista N°2 de la división de la VII Región



Fuente: Elaboración propia.

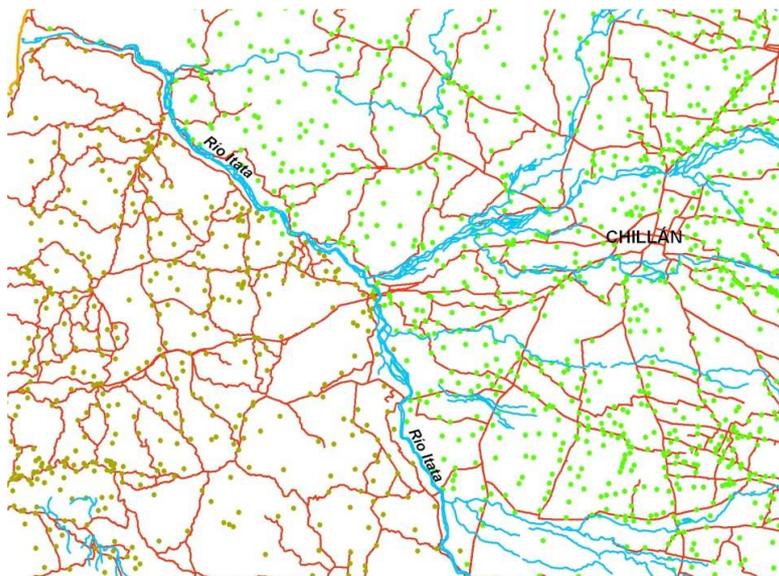
En la VIII Región, la división también viene dada por un límite natural. En este caso la partición la establece el río Itata.

**Figura 4.** Vista de la división de la VIII Región



Fuente: Elaboración propia.

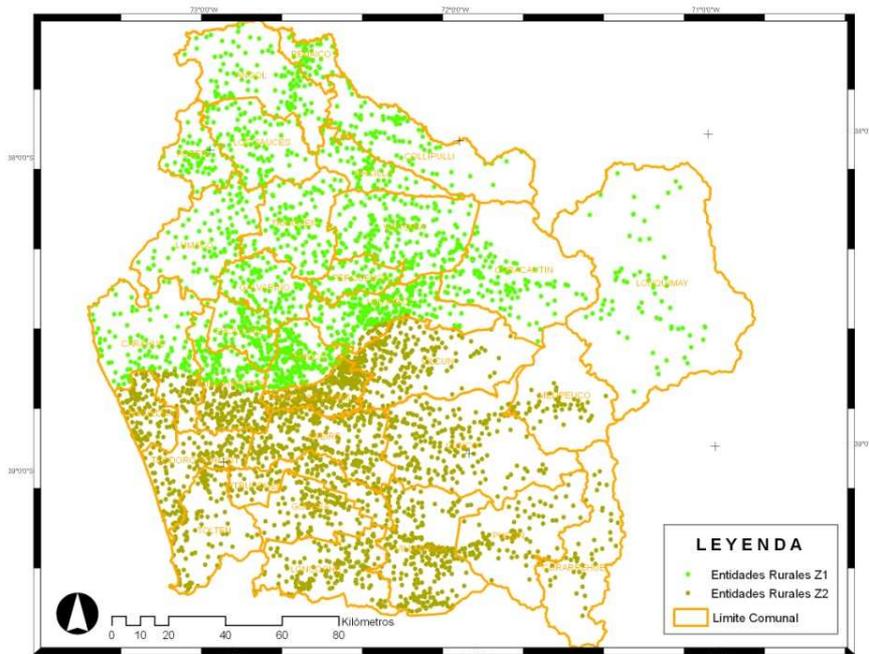
**Figura 5.** Vista N°2 de la división de la VIII Región



Fuente: Elaboración propia.

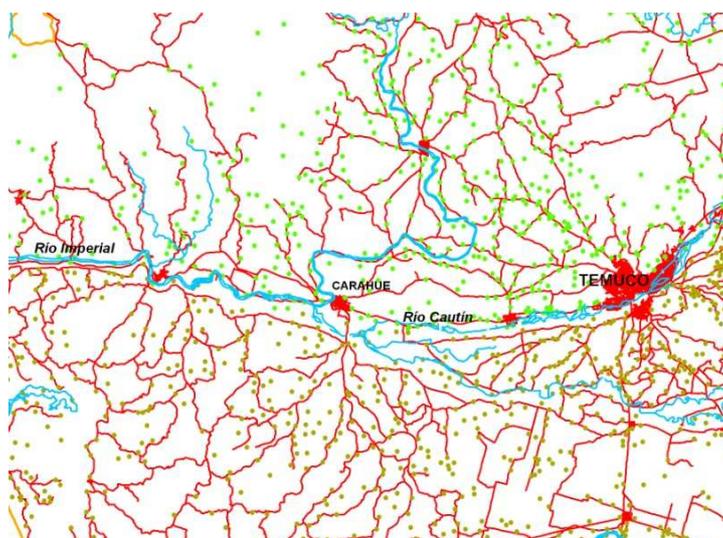
En la IX Región, nuevamente se utiliza una división natural. El río Cautín es el que parte en dos esta zona.

**Figura 6.** Vista de la división de la IX Región



Fuente: Elaboración propia.

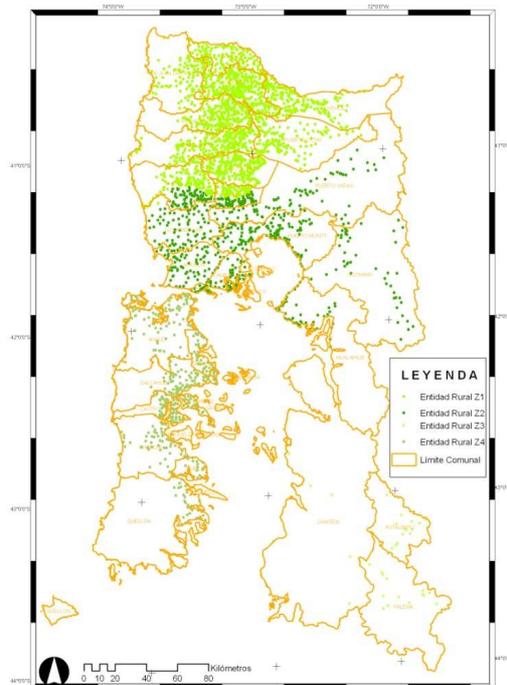
**Figura 7.** Vista N°2 de la división de la IX Región



Fuente: Elaboración propia.

Para la X región no fue posible establecer claramente una división a través de un río, dado que ninguno cruzaba transversalmente toda la región. Se muestra en las figuras cómo quedó la división utilizada.

**Figura 8.** Vista de la división de la X Región



Fuente: Elaboración propia.

**Figura 9.** Vista N°2 de la división de la X Región



Fuente: Elaboración propia.

## 4.2 Heurística utilizada

Debido al gran número de variables enteras, el problema no fue posible de resolver en varias regiones. Debido a esto, y para aumentar los tiempos de resolución, se procedió a realizar una heurística. Esta consiste en:

- a. Se dejan como continuas las variables ADD y SUB
- b. Se resuelve el problema
- c. Se fijan las variables X, con los valores que tomaron en la primera resolución
- d. Se dejan como enteras las variables ADD y SUB
- e. Se resuelve el problema nuevamente

Con esto fue posible obtener soluciones para todas las regiones.

## 4.3 Metodología de resolución

Para resolver el problema en cada una de las regiones, se realizaron dos corridas. La primera sirve para representar la situación base, vale decir, obtener una estimación de la actual asignación de niños a escuelas, suponiendo que asisten a la escuela más cercana con capacidad disponible. Para esto se fijan todas las variables de localización y tamaño de las escuelas a sus valores actuales y se deja libre la variable de asignación. Como resultado, se obtiene la asignación “óptima” de los actuales estudiantes a las actuales escuelas. Se debe mencionar que esta asignación no necesariamente se cumple en la realidad, pero que aún así, es una cota inferior –o mejor caso- al costo y tiempos de transporte de los alumnos. Se asume que las mejoras relevantes son entre estas dos corridas y que la mejora de la corrida uno respecto a la realidad es sólo por la aproximación del modelo.

La segunda corrida corresponde al escenario optimizado, donde se deja que cada una de las variables tome el valor que minimiza los costos totales de la sociedad. En este caso, al trabajar con todas las variables, se debe hacer uso de la

heurística descrita en la sección 4.2.

Posteriormente, se comparan las soluciones obtenidas en ambas corridas, para saber en qué medida la situación rediseñada produce mejorías sobre la situación actual.

#### 4.4 Obtención de parámetros de Costos

##### 4.4.1 Infraestructura

###### 4.4.1.1 Inversiones en Escuelas Nuevas

Existen 7 tipos de escuelas nuevas, las cuales requieren distintas cantidades de salas de clases inicialmente, números que puede incrementarse si se agregan salas en el proceso de optimización. Luego, dependiendo del tipo de escuela nueva, la inversión es distinta.

Para llevar la inversión [15] a un costo anual se utiliza el Costo Anual Equivalente (C)<sup>6</sup>. La fórmula es:

---

<sup>6</sup> La obtención de esta fórmula es análoga al cálculo de una anualidad. Usando los principios básicos de matemáticas financieras, el valor actual de una serie de pagos iguales durante N años corresponde a :

$$VA = \frac{C}{(1+r)} + \frac{C}{(1+r)^2} + \dots + \frac{C}{(1+r)^{N-1}} + \frac{C}{(1+r)^N} \quad (1)$$

Multiplicando la ecuación anterior por (1+r),

$$(1+r)VA = C + \frac{C}{(1+r)} + \dots + \frac{C}{(1+r)^{N-2}} + \frac{C}{(1+r)^{N-1}} \quad (2)$$

Restando (2) de (1),

$$(1+r)VA - VA = C + \frac{C}{(1+r)^N}$$

Despejando C se obtiene,

$$C = VA \left[ \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \right]$$

Fuente: "Fundamentos de Financiación Empresarial", Brealey y Myers [5]

$$C = VA \left[ \frac{r(1+r)^N}{(1+r)^N - 1} \right]$$

Con VA: Inversión para construir escuela nueva,  $r$ : tasa de descuento y  $N$ : años estimados que operará la escuela.

En este caso  $r = 8\%$ , la cual corresponde a la tasa social de descuento usada por MIDEPLAN y se estima que la vida útil de un establecimiento educacional es 20 años.

#### **4.4.1.2 Inversiones en Salas**

El procedimiento usado para obtener esta información fue el siguiente:

- Se promediaron los costos unitarios de sala (definidos como la inversión total de una escuela dividida por el número de salas), obteniéndose un valor de 862 UF.
- El costo promedio por sala recién calculado incluye infraestructura extra, como bibliotecas, patio, etc. Por esto se estimó que un 60% de este costo corresponde específicamente a salas de clase.
- Al igual que al construir una escuela nueva, se debe llevar la inversión a términos anuales usando el Costo Anual Equivalente. La tasa de descuento y años de duración son los mismos usados anteriormente.

Con esto se obtuvo un costo aproximado de 517 UF y en términos anuales corresponde a 52,65 UF.

## 4.4.2 Remuneraciones

### 4.4.2.1 Remuneraciones de profesores

Originalmente la información de MINEDUC [14] sólo mostraba el costo total de remuneraciones por escuela, por lo que se calculó el costo promedio de un profesor para cada una de ellas. No obstante existen algunas escuelas las cuales no poseen información sobre sus costos; en estos casos se tomó como sueldo promedio de profesor el sueldo promedio de profesores de su región y el sueldo total corresponde al número de cursos del año 2007 multiplicado por el costo unitario de profesor. A continuación, se muestran los costos promedio de profesores en escuelas rurales por región y el máximo sueldo pagado en cada una de ellas:

**Tabla 7.** Costos promedio de profesores de establecimientos rurales por región.

Región	Promedio de sueldo por profesor	Máximo sueldo por profesor
I	\$ 787,897	\$ 1,179,666
II	\$ 823,300	\$ 1,105,047
III	\$ 832,349	\$ 1,198,435
IV	\$ 581,925	\$ 1,009,201
V	\$ 455,304	\$ 920,018
RM	\$ 434,693	\$ 873,744
VI	\$ 518,648	\$ 971,804
VII	\$ 631,346	\$ 1,412,705
VIII	\$ 654,827	\$ 1,146,524
IX	\$ 608,660	\$ 1,266,105
X	\$ 727,153	\$ 1,731,638
XI	\$ 1,031,368	\$ 1,670,139
XII	\$ 627,838	\$ 1,068,703

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.2.2 Remuneraciones de directores

Usando la base de trabajo de directores de MINEDUC se puede calcular el costo por director promedio de una región, así como el máximo, como se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 8.** Costo promedio de directores de establecimientos educacionales por región.

Región	Promedio de sueldo por director	Máximo sueldo por director
I	\$ 831,013	\$ 1,086,757
II	\$ 823,268	\$ 1,055,393
III	\$ 956,485	\$ 1,151,429
IV	\$ 784,169	\$ 1,008,427
V	\$ 715,697	\$ 920,711
RM	\$ 648,667	\$ 955,249
VI	\$ 777,251	\$ 971,804
VII	\$ 779,210	\$ 1,412,705
VIII	\$ 851,226	\$ 1,146,524
IX	\$ 863,999	\$ 1,364,364
X	\$ 935,378	\$ 1,695,601
XI	\$ 1,190,057	\$ 1,683,600
XII	\$ 991,262	\$ 1,189,702

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.4.3 Transporte

El usuario puede especificar el costo anual de transporte por alumno por distancia recorrida (en metros). Para calcular el costo total se debe multiplicar la distancia que viajan los alumnos por este costo unitario definido. Este es un valor subjetivo, el cual no sólo depende del costo monetario en que incurren los alumnos sino también del valor asociado al tiempo de viaje.

Para este caso particular, se consideró un factor de 30 para expandir la distancia medida diaria en metros al total al año. Este se obtuvo a partir de suponer que un kilómetro de viaje vale \$70 (de modo que un viaje de 5 kilómetros cuesta \$350) y

se transforma este costo por kilómetro diario a un costo por metros anual. Es decir:

$$\begin{aligned} & \text{Costo} \left( \$/m \text{ al año} \right) \\ &= \text{Costo} \left( \$/km \text{ al día} \right) * (\text{Conversión km a m}) \\ & \quad * (N^\circ \text{ viajes diarios}) * (\text{Días hábiles al mes}) \\ & \quad * (N^\circ \text{ de meses hábiles}) \\ & \text{Costo} \left( \$/m \text{ al año} \right) \\ &= 70 \left( \$/km \text{ al día} \right) * \left( \frac{1}{1000} km/m \right) * (2 \text{ viajes diarios}) * (22 \text{ días}) \\ & \quad * (10 \text{ meses}) = 30.8 \left( \$/m \text{ al año} \right) \end{aligned}$$

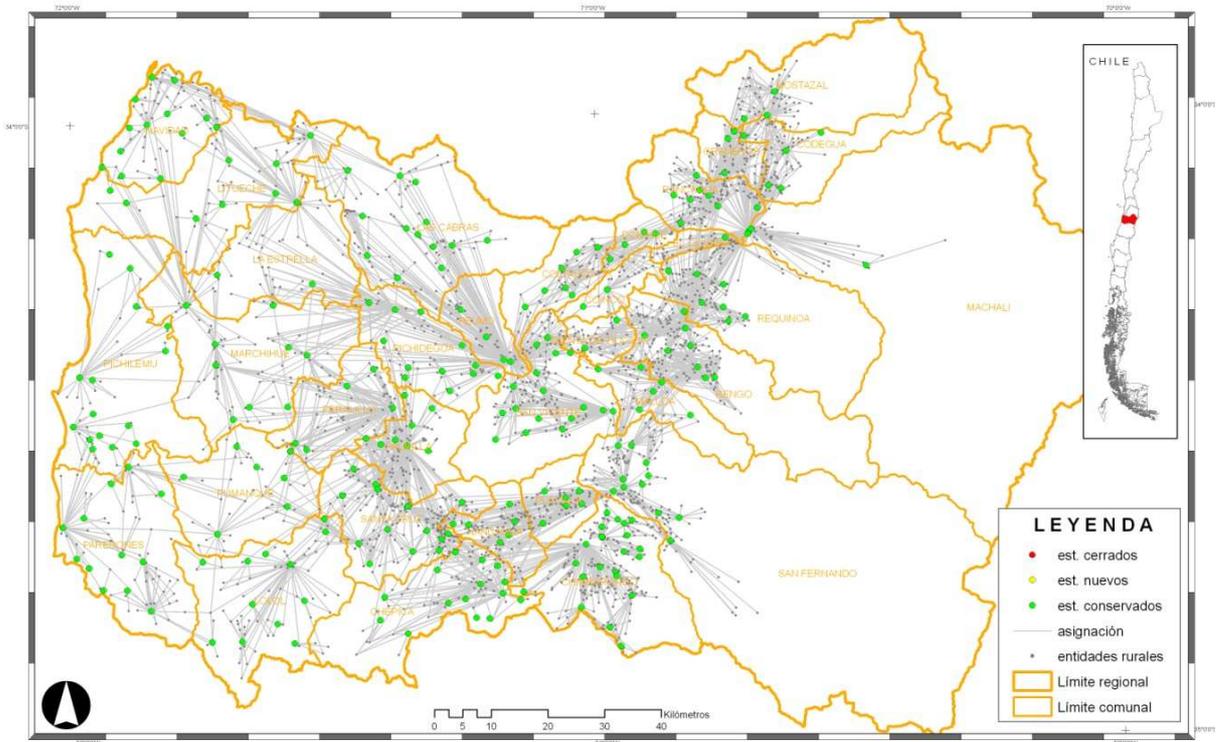
#### **4.5 Modelo con Población Agregada**

Como se vio en la revisión de literatura, muchos de los modelos de localización de escuelas usan una demanda y oferta agregada. Es decir no se realiza distinción entre grados de educación.

Este supuesto es posible de replicar en el modelo detallado aquí propuesto. Para esto, basta con trabajar con sólo un tipo de grado de enseñanza, el cual representará a la totalidad de los alumnos.

Se compararon los resultados que se obtienen al correr el modelo con población agregada, con el modelo actual que incorpora diferenciaciones por grado. Las asignaciones de estudiantes a escuelas difieren, puesto que en la primera situación cada alumno asistirá a su escuela más cercana (siempre que cuente con capacidad); en el segundo caso cada alumno también asiste a su escuela más cercana, pero además de contar con capacidad disponible debe instruir el grado requerido (no necesariamente es la más cercana). Esta última situación es un mejor reflejo de la realidad, ya que en el caso agregado no podemos asegurar que todas las escuelas puedan recibir a todos los tipos de alumnos; en el caso de Chile, esto ocurre principalmente con la educación media donde no todas las escuelas imparten estos grados. Se muestra en las figuras lo que ocurre en la VI región, si se usa un modelo con demanda agregada.

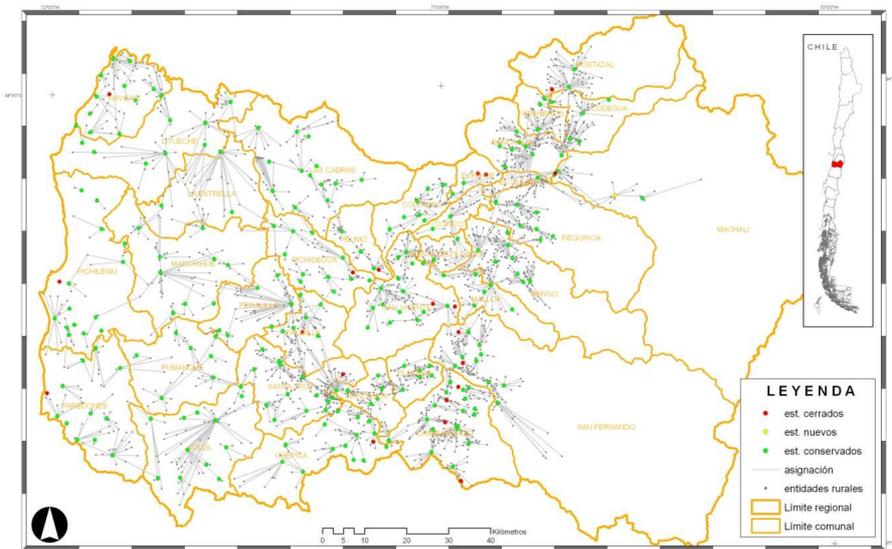
**Figura 10.** Ejemplo de resultados del modelo Situación Pre Optimización.



Fuente: Elaboración propia usando ArcMap.

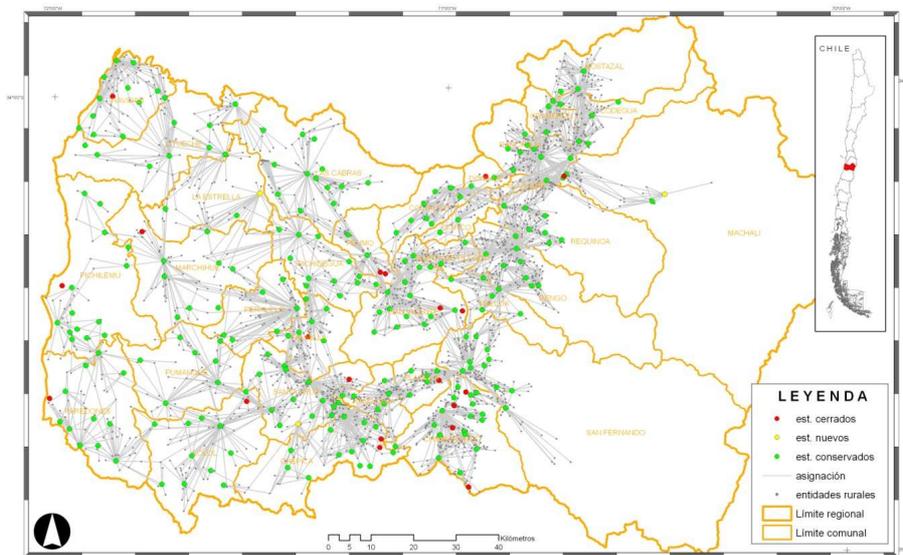
Observación: Este despliegue muestra una aproximación de la asignación actual de los alumnos a las escuelas existentes.

**Figura 11.** Ejemplo de resultados del modelo Situación Optimizada con demanda agregada.



Fuente: Elaboración propia usando ArcMap.

**Figura 12.** Ejemplo de resultados del modelo Situación Optimizada con demanda desagregada.



Fuente: Elaboración propia usando ArcMap.

Observación: En este despliegue se aprecia que los alumnos en promedio deben viajar más que en la situación agregada, dado que no todas las escuelas imparten todos los tipos de educación demandados.

## **5 Resultados de la aplicación del Modelo de Localización a nivel país por región**

En este capítulo se presentan los resultados de la optimización para cada una de las regiones. Cada una de ellas fue resuelta en forma individual, considerando 2 islas de la décima región como regiones aisladas (la población está cautiva en ellas). Estas se resolvieron en un equipo Mac Pro con dos procesadores Core2Quad 2.8 GHz y 32 Gb RAM (sistema operativo OSX). En este equipo, se configuró una máquina virtual (Vmware Fusion) donde se configuró el sistema operativo Windows 7, utilizando finalmente 2 procesadores (de los 8 procesadores disponibles) y 8 Gb en RAM (de 32).

Además las regiones entre la séptima y décima fueron divididas en zonas (dado que su tamaño en número de entidades y establecimientos es superior al resto), de forma de poder ser resueltas con un computador estándar (Dual Core T3200, 2 GHz, 2 GB RAM y 10 GB libre en disco). Estos últimos resultados pueden ser consultados en el anexo 8.1. Asimismo, se muestran las diferencias que se producen al utilizar ambos enfoques en el punto 5.19.

Para la resolución se utilizó el software de optimización GAMS Rev 148 con CPLEX 10.2.0.

Al momento de optimizar, para cada una de las regiones se impuso una distancia máxima de viaje de los alumnos de 30 km. Esta distancia fue aumentada en las regiones de los extremos del país (XV, I, II, III, XI y XII), dado que en esas zonas la oferta rural existente es menor, quedando en 50 km.

Los costos de directores y profesores presentados corresponden al total de personal existente y nuevo en los establecimientos de cada región. Para el caso de docentes nuevos, al presentar los resultados se toma como remuneración estimada de cada uno de ellos el promedio de sueldo de docentes de la región.

## 5.1 Resumen País.

Se contrasta la situación actual del país en función de dos escenarios optimizados: en el primero las regiones de los extremos del país (XV, I, II, III, XI y XII) tienen una restricción que fuerza a los alumnos a tener una escuela dentro de 50 km; en el segundo escenario se quita dicha restricción a las regiones extremas.

Inicialmente existen 4.165<sup>7</sup> escuelas a lo largo del país, de las cuales 77,90% son municipales, 21,55% particulares subvencionadas y el 0,69% particulares pagadas. Al aplicar la optimización, el modelo señala que deben ser cerrados 314 escuelas (en los dos escenarios), mientras que se deben abrir 235 en el primer escenario y 173 en el segundo. Esta diferencia viene dada por la población existente en las regiones extremas.

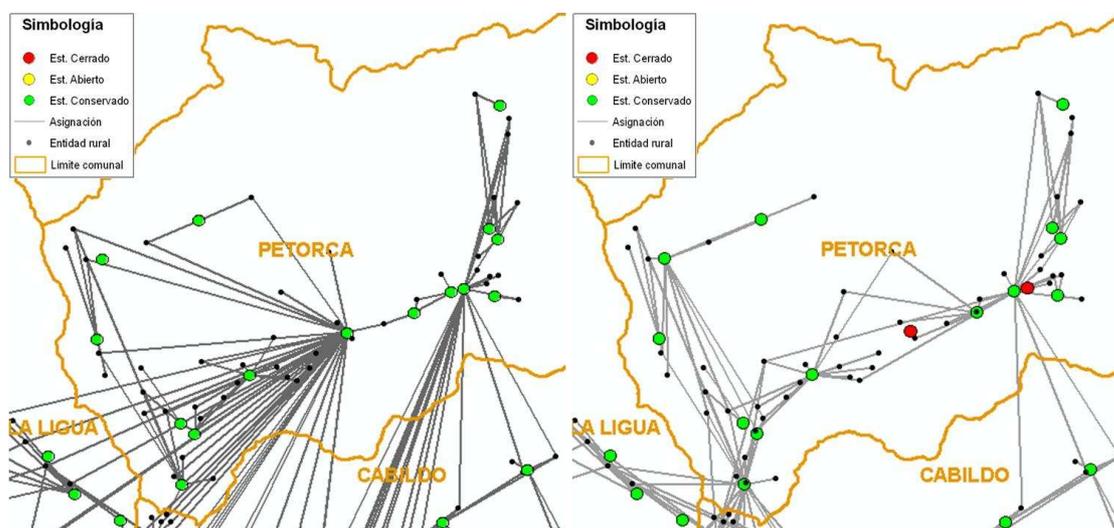
Existen entidades que no tienen escuelas en un radio de 50 km, por lo que el primer escenario obliga a construir escuelas; el segundo en cambio, permite que los alumnos viajen a un establecimiento más lejos, aprovechando mejor los recursos existentes en cada región. Esto se refleja en la capacidad ociosa promedio de los distintos escenarios; el primer escenario optimizado aumenta la ociosidad con respecto a la situación actual, dado que en las regiones mencionadas se deben abrir escuelas que sólo atienden a aquellos poblados alejados de los establecimientos actuales; el segundo escenario optimizado, en cambio, reduce la ociosidad dado que al tener menos escuelas en total los alumnos aprovechan las plazas disponibles en los establecimientos actuales.

En promedio, los alumnos disminuyen sus distancias de viaje en un 61% en el primer escenario, mientras que se llega a un 38% en el segundo.

---

<sup>7</sup> Corresponde al número total de establecimientos rurales considerados en la modelación, no incluyendo aquellos establecimientos aislados de la red vial por razones geográficas.

**Figura 13.** Ejemplo de resultados del modelo (Situación Pre/Post Optimización).



Fuente: Elaboración propia usando ArcMap.

Las escuelas cerradas en su mayoría corresponden a establecimientos municipales con un 87% del total, mientras que las particulares subvencionadas alcanzan un 13%.

Los costos (sin considerar costo de transporte), se reducen en 10% (al año) al optimizar según el primer escenario y en un 13% si se considera el segundo escenario. Estos ahorros son significativos, pues la magnitud de los montos involucrados es de miles de millones de pesos, como se puede observar en la siguiente tabla.

**Tabla 9.** Tabla resumen optimización país.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado (50 km distancia máx. en regiones extremas)	Escenario Optimizado (sin restricción de distancia en regiones extremas)
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	4165*	3851	3851
	Nuevas	0	235	173
	Cerradas	0	314	314
	Multigrado (existentes y nuevas)	2636	2459	2449
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	1191	1141
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	1662	1663
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	21.9	8.5	13.7
	Máximo	329.0	50.0	371.2
	Mínimo	0	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	76	75	80
	Máximo	2059	1658	1658
	Mínimo	0	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	64	78
	Máximo	0	565	565
	Mínimo	0	1	1
Capacidad Ociosa Promedio		28%	30%	15%
Nº alumnos por profesor		15.6	15.6	18.1
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 2,676,713,320	\$ 2,066,163,203
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 1,317,018,519	\$ 1,261,728,069
	Directores	\$ 20,518,770,200	\$ 20,362,107,470	\$ 19,780,317,050
	Profesores	\$ 116,151,432,468	\$ 98,676,926,936	\$ 96,475,567,810
	Costo de Transporte	\$ 76,232,475,716	\$ 55,865,136,465	\$ 56,770,363,593
	TOTAL	\$ 212,902,678,384	\$ 178,897,902,710	\$ 176,354,139,725
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 136,670,202,668	\$ 123,032,766,245	\$ 119,583,776,132

Fuente. Elaboración propia.

\* Corresponde al número total de establecimientos rurales considerados en la modelación, no incluyendo aquellos establecimientos aislados de la red vial por razones geográficas.

**Tabla 10.** Tabla resumen por región.

Región	Escuelas Iniciales	Escuelas Nuevas	Escuelas A Cerrar	Distancia promedio a viajar	% cambio de distancia de viaje	% cambio de costo total anual
XV	22	7	5	15.03	-38%	51%
I	37	19	8	12.05	-74%	-19%
II	17	11	4	9.18	-84%	30%
III	44	18	8	11.14	-33%	3%
IV	388	7	20	8.37	3%	-15%
V	208	7	20	5.27	-43%	-25%
RM	165	12	20	5.64	-36%	-26%
VI	272	3	20	4.99	-14%	-15%
VII	474	21	40	5.57	-17%	-14%
VIII	676	43	40	6.83	-19%	-11%
IX	844	31	40	6.87	-25%	-14%
X	612	21	62	6.87	-20%	-16%
XIV	375	9	20	7.56	-33%	-20%
XI	22	14	5	13.41	-57%	11%
XII	9	12	2	13.99	-83%	18%

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 11.** Tabla resumen por región: caso donde no se limita distancia a viajar por los alumnos.

Región	Escuelas Iniciales	Escuelas Nuevas	Escuelas A Cerrar	Distancia promedio a viajar	% cambio de distancia de viaje	% cambio de costo total anual
XV	22	0	5	25.23	3%	-24%
I	37	9	8	21.4	-53%	-33%
II	17	4	4	37.23	-36%	-25%
III	44	2	8	19.64	18%	-20%
XII	9	3	2	24.39	-70%	-33%

Fuente. Elaboración propia.

Se definieron las siguientes macrozonas dentro del país, de acuerdo a la cercanía geográfica:

- Zona Norte: XV, I, II, III y IV región.
- Zona Centro: V, RM, VI, VII, VIII y IX región
- Zona Sur: X, XIV, XI y XII región

Los resultados por macrozonas del país se presentan en la siguiente tabla (sólo se presentan las variaciones porcentuales respecto a la situación actual).

**Tabla 12.** Tabla resumen optimización país y macrozonas.

		PAIS	PAIS*	NORTE	NORTE*	CENTRO	SUR	SUR*
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	-8%	-8%	-9%	-9%	-7%	-9%	-9%
	Escuelas Nuevas	235	173	62	22	117	56	34
	Escuelas Cerradas	314	314	45	45	180	89	89
	Escuelas Multigrado	-7%	-7%	-6%	-7%	-8%	-4%	-5%
Distancia promedio recorrida por alumno [km]		-61%	-38%	-64%	-27%	-27%	-69%	-50%
Nº alumnos promedio por colegio (Existentes)		-1%	5%	-20%	3%	6%	-8%	4%
Nº alumnos promedio por colegio (Nuevos)		64	78	40	80	104	43	52
Capacidad Ociosa Promedio		7%	-46%	44%	-65%	-41%	18%	-33%
Nº alumnos por profesor		0%	16%	-14%	29%	9%	0%	17%
Costos	Inversiones	\$ 3,993,731,839	\$ 3,327,891,272	\$ 712,898,398	\$ 255,542,474	\$ 2,468,812,233	\$ 812,021,208	\$ 603,536,565
	Docentes	-13%	-15%	-9%	-21%	-13%	-14%	-4%
	Costo de Transporte	-27%	-26%	-36%	-17%	-20%	-26%	3%
	TOTAL	-16%	-17%	-10%	-19%	-19%	-16%	-3%
	TOTAL (Sin Transporte)	-10%	-13%	-4%	-19%	-14%	-11%	-5%

Fuente. Elaboración propia.

\*No se utiliza la restricción máxima a viajar por los alumnos. Esto aplica para las regiones I, II, III, XI, XII y XV.

## **5.2 XV Región de Arica y Parinacota.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 24 a 15 km. Para esto se requieren construir 7 nuevas escuelas, mientras que se cierran 5. El hecho de tener más escuelas que en la situación original produce un aumento en los costos asociadas al funcionamiento de ellas (profesores y directores), además de requerir de una inversión en infraestructura.

Además de contar con 2 escuelas más en la región, el número de cursos agregados en las escuelas existentes dobla la cantidad que se elimina. Esto contribuye a un aumento de la capacidad ociosa promedio regional, dado una oferta mayor que existirá; varias de las escuelas construidas atienden sólo a alumnos que no tienen oferta actual a menos de 50 km, por lo que necesariamente se deben crear establecimientos para ellos.

Se realizó una corrida adicional donde no se limita la distancia a viajar por los alumnos. Esta solución presenta menores costos y la capacidad ociosa disminuye a un 14%; no obstante existen alumnos que deben recorrer hasta 180 km para llegar a sus establecimientos. La reasignación de alumnos es un 27% para el primer escenario optimizado y un 7% para el segundo (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 13.** Tabla resumen, escenarios XV Región

		Escenario Actual	Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)	Escenario Optimizado (sin restricción de distancia)
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	22	17	17
	Escuelas Nuevas	0	7	0
	Escuelas Cerradas	0	5	5
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		4	0
	Eliminados en Escuelas Existentes		2	1
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	24.4	15.03	25.23
	Máximo	183.69	49.72	183.69
	Mínimo	0.2	0	0.2
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	23	22	29.18
	Máximo	351	294	374.2
	Mínimo	0	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		17	
	Máximo		35	
	Mínimo		6	
Capacidad Ociosa Promedio		34%	66%	14%
Nº alumnos por profesor		11.81	7.19	17.1
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 80,828,895	\$ 0
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 4,423,236	\$ 0
	Directores	\$ 10,867,570	\$ 69,038,480	\$ 10,867,570
	Profesores	\$ 399,830,530	\$ 556,322,560	\$ 273,470,130
	Costo de Transporte	\$ 103,724,589	\$ 63,885,300	\$ 107,257,183
	TOTAL	\$ 514,422,689	\$ 774,498,471	\$ 391,594,883
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 410,698,100	\$ 710,613,171	\$ 284,337,700

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 14.** Escuelas a cerrar, XV Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
83	5	Básica	Municipal
90	38	Básica	Municipal
92	5	Básica	Municipal
93	17	Básica	Municipal
95	4	Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

### 5.3 I Región de Tarapacá.

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 45 a 12 km. Para esto se requieren construir 19 nuevas escuelas, mientras que se cierran 8. El hecho de aumentar las escuelas produce un aumento en los costos asociadas al funcionamiento de ellas (profesores y directores), además de requerir de una inversión en infraestructura, pero se ahorra en costos de transporte.

A pesar de existir 11 escuelas más que en la situación original, la capacidad ociosa promedio en la región disminuye. Esto se debe a que 4 de las escuelas cerradas poseen una infraestructura capaz de albergar una gran cantidad de alumnos (sobre 100, de acuerdo a la matrícula 2007). Asimismo, las escuelas nuevas en promedio atienden sólo a 60 alumnos.

Se realizó una corrida adicional (al igual que en todas las regiones de los extremos del país) donde no se limita la distancia a viajar por los alumnos. Esta solución presenta menores costos y la capacidad ociosa disminuye a un 6%; no obstante existen alumnos que deben recorrer hasta 217 km para llegar a sus establecimientos. La reasignación de alumnos es un 58% para el primer escenario optimizado y un 53% para el segundo (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 15.** Tabla resumen, escenarios I Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)	Escenario Optimizado (sin restricción de distancia)
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	37	29	29
	Escuelas Nuevas	0	19	9
	Escuelas Cerradas	0	8	8
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		29	21
	Eliminados en Escuelas Existentes		18	18
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	45.62	12.05	21.4
	Máximo	190.34	49.49	217.2
	Mínimo	0.07	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	75	56	70.83
	Máximo	616	402	553
	Mínimo	5	2	6
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		60	78.67
	Máximo		485	230
	Mínimo		2	43
Capacidad Ociosa Promedio		31%	30%	6%
Nº alumnos por profesor		16.06	13.88	19.31
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 171,329,876	\$ 62,280,381
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 32,068,461	\$ 23,221,989
	Directores	\$ 49,320,070	\$ 185,907,570	\$ 98,210,150
	Profesores	\$ 1,313,984,330	\$ 1,303,671,468	\$ 948,481,590
	Costo de Transporte	\$ 1,080,095,434	\$ 285,159,146	\$ 506,676,569
	TOTAL	\$ 2,443,399,834	\$ 1,978,136,521	\$ 1,638,870,679
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 1,363,304,400	\$ 1,692,977,375	\$ 1,132,194,110

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 16.** Escuelas a cerrar, I Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.).

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
154	31	Básica	Municipal
161	239	Preescolar, Básica y Media	Municipal
165	2	Básica	Municipal
12562	3	Básica	Municipal
195	142	Básica	Municipal
198	61	Básica	Municipal
12617	779	Preescolar y Básica	Municipal
10917	299	Preescolar, Básica y Media	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

#### **5.4 II Región de Antofagasta.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 58 a 9 km. Para esto se requieren construir 11 nuevas escuelas, mientras que se cierran 4. El hecho de tener más escuelas que en la situación original produce un aumento en los costos asociadas al funcionamiento de ellas (profesores y directores), además de requerir de una inversión en infraestructura.

Las escuelas que se cierran no corresponden a las más grandes (en términos de matrícula). Además, las escuelas que se abren reciben a pocos alumnos; esto se debe a que existen entidades que no tienen ninguna escuela existente a menos de 50 km, por lo que necesariamente se debe abrir una escuela para cumplir con la restricción de máxima distancia a viajar por los alumnos. Alguno de estos recintos deben recibir demanda de grados de educación media y de 7<sup>o</sup>-8<sup>o</sup> básico, por ello, no pueden ser usadas como escuelas multigrados. Por estas razones la capacidad ociosa promedio de la región aumenta a más del doble de la considerada originalmente.

Se realizó una corrida adicional donde no se limita la distancia a viajar por los alumnos. Esta solución presenta menores costos y la capacidad ociosa disminuye a un 12%; no obstante existen alumnos que deben recorrer hasta 370 km para

llegar a sus establecimientos. La reasignación de alumnos es un 71% para el primer escenario optimizado y un 35% para el segundo (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 17.** Tabla resumen, escenarios II Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)	Escenario Optimizado (sin restricción de distancia)
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	17	13	13
	Escuelas Nuevas	0	11	4
	Escuelas Cerradas	0	4	4
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		9	5
	Eliminados en Escuelas Existentes		9	8
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	58.16	9.18	37.23
	Máximo	303.86	47.68	371.15
	Mínimo	0.04	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	34	13	32.52
	Máximo	153	45	174
	Mínimo	5	1	8
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		36	37.3
	Máximo		94	60
	Mínimo		8	17
Capacidad Ociosa Promedio		31%	69%	12%
Nº alumnos por profesor		8.94	5.11	11.22
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 116,965,549	\$ 22,454,134
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 9,952,281	\$ 5,529,045
	Directores	\$ 32,930,700	\$ 104,471,460	\$ 46,842,700
	Profesores	\$ 439,335,258	\$ 705,973,782	\$ 312,374,192
	Costo de Transporte	\$ 285,156,626	\$ 45,002,006	\$ 182,529,062
	TOTAL	\$ 757,422,584	\$ 982,365,078	\$ 569,729,133
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 472,265,958	\$ 937,363,072	\$ 387,200,071

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 18.** Escuelas a cerrar, II Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
252	98	Básica	Municipal
274	23	Básica	Municipal
277	31	Básica	Municipal
214	7	Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

#### **5.4.1 Corrida adicional: nuevo límite de distancia a recorrer por los alumnos.**

De los resultados anteriores, se aprecia que al optimizar sin limitar la distancia a recorrer por los alumnos se da el caso de alumnos que deben viajar más de 350 km para llegar a estudiar a sus escuelas. Limitando la distancia a 50 km, se obtiene que se deben abrir 11 escuelas nuevas lo que representa el 64% de escuelas iniciales existentes.

Luego, se plantea realizar una nueva corrida donde la distancia máxima a recorrer por los alumnos se fija en 100 km.

Con esta consideración, los resultados son:

**Tabla 19.** Tabla resumen, escenario extra II Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	17	13
	Escuelas Nuevas	0	8
	Escuelas Cerradas	0	4
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		7
	Eliminados en Escuelas Existentes		9
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	58.16	23.33
	Máximo	303.86	99.26
	Mínimo	0.04	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	34	16.77
	Máximo	153	76
	Mínimo	5	3
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		44.25
	Máximo		125
	Mínimo		9
Capacidad Ociosa Promedio		31%	39%
Nº alumnos por profesor		8.94	8.94
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 55,780,279
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 7,740,663
	Directores	\$ 32,930,700	\$ 72,095,220
	Profesores	\$ 439,335,258	\$ 405,995,476
	Costo de Transporte	\$ 285,156,626	\$ 114,367,490
	TOTAL	\$ 757,422,584	\$ 655,979,128
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 472,265,958	\$ 541,611,638

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 20.** Escuelas a cerrar, II Región. Escenario Optimizado (100 km distancia máx.)

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
371	64	Preescolar y Básica	Municipal
246	42	Preescolar y Básica	Municipal
252	98	Básica	Municipal
214	7	Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

## **5.5 III Región de Atacama.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 16 a 11 km. Para esto se requieren construir 18 nuevas escuelas, mientras que se cierran 8. El hecho de tener más escuelas que en la situación original produce un aumento en los costos asociadas al funcionamiento de ellas (profesores y directores), además de requerir de una inversión en infraestructura.

A pesar de existir 10 escuelas más que en la situación, la capacidad ociosa promedio en la región sólo sube en 1%. Esto se debe a que 5 de las escuelas cerradas poseen una infraestructura capaz de albergar una gran cantidad de alumnos (sobre 100, de acuerdo a la matrícula 2007). Asimismo, las escuelas nuevas en promedio atienden sólo a 47 alumnos.

Se realizó una corrida adicional donde no se limita la distancia a viajar por los alumnos. Esta solución presenta menores costos y la capacidad ociosa disminuye a un 5%; no obstante existen alumnos que deben recorrer hasta 158 km para llegar a sus establecimientos. La reasignación de alumnos es un 57% para el primer escenario optimizado y un 42% para el segundo; este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual.

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 21.** Tabla resumen, escenarios III Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)	Escenario Optimizado (sin restricción de distancia)
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	44	36	36
	Escuelas Nuevas	0	18	2
	Escuelas Cerradas	0	8	8
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		37	18
	Eliminados en Escuelas Existentes		10	11
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	16.69	11.14	19.64
	Máximo	120.78	49.99	158.22
	Mínimo	0	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	61	51	65.13
	Máximo	353	336	433.8
	Mínimo	2	4	4
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		47	163.1
	Máximo		229	296.2
	Mínimo		1	30
Capacidad Ociosa Promedio		33%	34%	5%
Nº alumnos por profesor		15.62	13.56	21.37
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 156,334,076	\$ 22,071,272
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 40,914,933	\$ 19,904,562
	Directores	\$ 238,066,150	\$ 316,598,630	\$ 183,165,770
	Profesores	\$ 1,325,799,380	\$ 1,240,496,348	\$ 888,747,140
	Costo de Transporte	\$ 382,155,763	\$ 255,121,186	\$ 449,562,775
	TOTAL	\$ 1,946,021,293	\$ 2,009,465,173	\$ 1,563,451,519
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 1,563,865,530	\$ 1,754,343,987	\$ 1,113,888,744

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 22.** Escuelas a cerrar, III Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
493	172	Preescolar y Básica	Municipal
11025	330	Preescolar, Básica y Media	Municipal
500	12	Básica	Municipal
508	12	Básica	Municipal
13125	429	Preescolar, Básica y Media	Particular Pagado
441	318	Preescolar, Básica y Media	Municipal
463	182	Preescolar y Básica	Municipal
466	12	Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

## 5.6 IV Región de Coquimbo

En esta región, la distancia promedio que recorren los alumnos se mantiene prácticamente constante (sube 8.16 a 8.37 km) no obstante se obtienen otros beneficios. Para esto se requieren construir 7 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

Dentro de las escuelas cerradas, aparecen algunas que durante el año 2007 registraron 0 alumnos. Esto se debe a que éstas son escuelas de educación especial o adultos. La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original y además en las escuelas existentes se quitan más cursos de los que se agregan.

La reasignación de alumnos es un 21% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 23.** Tabla resumen, escenarios IV Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	388	368
	Escuelas Nuevas	0	7
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		22
	Eliminados en Escuelas Existentes		105
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	8.16	8.37
	Máximo	231.16	49.98
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	52	54
	Máximo	901	1233
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		42
	Máximo		91
	Mínimo		1
Capacidad Ociosa Promedio		20%	15%
Nº alumnos por profesor		15.76	18.86
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 75,753,293
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 24,327,798
	Directores	\$ 1,539,107,620	\$ 1,482,531,750
	Profesores	\$ 9,056,367,380	\$ 7,167,182,142
	Costo de Transporte	\$ 1,416,836,786	\$ 1,452,866,146
	TOTAL	\$ 12,012,311,786	\$ 10,202,661,129
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 10,595,475,000	\$ 8,749,794,983

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 24.** Escuelas a cerrar, IV Región.

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
540	122	Preescolar y Básica	Municipal
543	146	Preescolar y Básica	Municipal
544	0	Media	Municipal
565	1037	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
597	240	Preescolar y Básica	Municipal

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
629	518	Preescolar y Básica	Municipal
631	339	Preescolar y Básica	Municipal
671	211	Preescolar y Básica	Municipal
691	237	Preescolar y Básica	Municipal
694	263	Preescolar, Básica y Media	Municipal
725	249	Preescolar y Básica	Municipal
774	200	Preescolar y Básica	Municipal
803	265	Preescolar y Básica	Municipal
804	206	Preescolar y Básica	Municipal
851	117	Preescolar y Básica	Municipal
1051	297	Preescolar y Básica	Municipal
13455	0	Media	Municipal
13541	0	Media	Particular Subvencionado
1017	113	Preescolar y Básica	Municipal
13610	0	Media	Particular Subvencionado

Fuente. Elaboración propia.

## 5.7 V Región de Valparaíso.

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 9 a 5 km. Para esto se requieren construir 7 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se agregan no es muy superior a los que se quitan.

La reasignación de alumnos es un 20% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 25.** Tabla resumen, escenarios V Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	208	188
	Escuelas Nuevas	0	7
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		107
	Eliminados en Escuelas Existentes		92
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.25	5.27
	Máximo	204.07	29.97
	Mínimo	0.04	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	109	118
	Máximo	868	632
	Mínimo	0	1
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		73
	Máximo		297
	Mínimo		8
Capacidad Ociosa Promedio		19%	14%
Nº alumnos por profesor		18.4	19.55
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 100,577,325
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 118,321,563
	Directores	\$ 240,767,040	\$ 245,459,530
	Profesores	\$ 7,788,507,090	\$ 6,718,430,116
	Costo de Transporte	\$ 6,288,051,270	\$ 3,579,438,678
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 14,317,325,400</b>	<b>\$ 10,762,227,212</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 8,029,274,130</b>	<b>\$ 7,182,788,534</b>

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 26.** Escuelas a cerrar, V Región.

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
1125	325	Preescolar y Básica	Municipal
1139	113	Preescolar y Básica	Municipal
1148	487	Preescolar, Básica y Media	Municipal
1149	290	Preescolar, Básica y Media	Municipal
1184	214	Básica	Municipal
1185	96	Básica	Municipal

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
1192	237	Preescolar y Básica	Municipal
1211	309	Preescolar y Básica	Municipal
1260	499	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
1328	144	Preescolar y Básica	Municipal
1450	783	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
1868	228	Preescolar y Básica	Municipal
1899	207	Preescolar y Básica	Municipal
2066	424	Preescolar y Básica	Municipal
2079	328	Preescolar y Básica	Municipal
14217	263	Preescolar, Básica y Media	Particular Pagado
14329	9	Media	Municipal
14829	59	Media	Municipal
14840	18	Media	Particular Subvencionado
14864	49	Media	Particular Subvencionado

Fuente. Elaboración propia.

## 5.8 RM Región Metropolitana.

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 8 a 5 km. Para esto se requieren construir 12 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es prácticamente la misma con respecto a los que se deben agregar.

La reasignación de alumnos es un 21% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 27.** Tabla resumen, escenarios RM.

		<b>Escenario Actual</b>	<b>Escenario Optimizado</b>
<b>Escuelas</b>	<b>Existentes que permanecen abiertas</b>	165	145
	<b>Escuelas Nuevas</b>	0	12
	<b>Escuelas Cerradas</b>	0	20
<b>Cursos</b>	<b>Agregados en Escuelas Existentes</b>		229
	<b>Eliminados en Escuelas Existentes</b>		223
<b>Distancia recorrida por alumno [km]</b>	<b>Promedio</b>	8.76	5.64
	<b>Máximo</b>	69.67	29.91
	<b>Mínimo</b>	0	0
<b>Nº alumnos por colegio (Existentes)</b>	<b>Promedio</b>	364	392
	<b>Máximo</b>	2059	1658
	<b>Mínimo</b>	0	0
<b>Nº alumnos por colegio (Nuevos)</b>	<b>Promedio</b>		271
	<b>Máximo</b>		565
	<b>Mínimo</b>		60
<b>Capacidad Ociosa Promedio</b>		22%	3%
<b>Nº alumnos por profesor</b>		28.99	31.5
<b>Costos</b>	<b>Inversión en Nuevas Escuelas</b>		\$ 185,784,536
	<b>Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes</b>		\$ 253,230,261
	<b>Directores</b>	\$ 1,028,343,510	\$ 975,569,970
	<b>Profesores</b>	\$ 12,674,650,070	\$ 10,158,487,706
	<b>Costo de Transporte</b>	\$ 15,790,091,130	\$ 10,167,931,530
	<b>TOTAL</b>	\$ 29,493,084,710	\$ 21,741,004,003
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	\$ 13,702,993,580	\$ 11,573,072,473

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 28. Escuelas a cerrar, RM.**

<b>RBD</b>	<b>Matrícula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
10405	1285	Preescolar, Básica y Media	Municipal
10588	774	Preescolar y Básica	Municipal
10501	1278	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
10505	863	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
10500	1130	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
10503	1193	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
10589	390	Preescolar y Básica	Municipal
10432	1155	Preescolar, Básica y Media	Municipal
10416	209	Media	Particular Subvencionado
24491	219	Preescolar, Básica y Media	Particular Pagado
10686	1133	Preescolar, Básica y Media	Municipal
10642	517	Media	Municipal
10651	656	Preescolar y Básica	Municipal
10520	755	Preescolar y Básica	Municipal
10641	1088	Preescolar, Básica y Media	Municipal
10661	114	Media	Particular Subvencionado
10643	190	Preescolar y Básica	Municipal
10655	155	Media	Municipal
10672	198	Preescolar y Básica	Municipal
10749	679	Preescolar, Básica y Media	Municipal

Fuente. Elaboración propia

## **5.9 VI Región del Libertador Bernardo O'Higgins.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 5.8 a 4.9 km. Para esto se requieren construir 3 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de

cursos que se quitan es prácticamente el doble con respecto a los que se deben agregar.

La reasignación de alumnos es un 16% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual.

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 29.** Tabla resumen, escenarios VI Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	272	252
	Escuelas Nuevas	0	3
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		76
	Eliminados en Escuelas Existentes		152
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	5.83	4.99
	Máximo	59.56	29.94
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	108	116
	Máximo	696	663
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		66
	Máximo		86
	Mínimo		30
Capacidad Ociosa Promedio		30%	18%
Nº alumnos por profesor		17.99	21.07
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 38,483,024
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 84,041,484
	Directores	\$ 1,598,613,650	\$ 1,474,915,700
	Profesores	\$ 9,557,987,620	\$ 7,798,515,972
	Costo de Transporte	\$ 5,146,675,500	\$ 4,406,611,164
	TOTAL	\$ 16,303,276,770	\$ 13,802,567,344
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 11,156,601,270	\$ 9,395,956,180

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 30.** Escuelas a cerrar, VI Región.

<b>RBD</b>	<b>Matrícula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
15564	693	Preescolar, Básica y Media	Particular Pagado
2514	139	Media	Particular Subvencionado
2612	694	Preescolar, Básica y Media	Municipal
2378	570	Media	Municipal
15583	360	Media	Municipal
2636	100	Básica	Municipal
2714	141	Preescolar y Básica	Municipal
2664	110	Básica	Municipal
2708	130	Preescolar y Básica	Municipal
2537	210	Preescolar, Básica y Media	Municipal
2538	159	Preescolar y Básica	Municipal
2380	194	Preescolar y Básica	Municipal
2420	128	Preescolar y Básica	Municipal
2491	186	Preescolar y Básica	Municipal
2498	208	Preescolar y Básica	Municipal
2505	200	Preescolar y Básica	Municipal
2524	131	Preescolar y Básica	Municipal
2565	174	Preescolar y Básica	Municipal
15708	26	Media	Municipal
2334	196	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia

### **5.10 VII Región del Maule.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 6.6 a 5.5 km. Para esto se requieren construir 21 nuevas escuelas, mientras que se cierran 40. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es mucho mayor con respecto a los que se deben agregar.

La reasignación de alumnos es un 14% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 31.** Tabla resumen, escenarios VII Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	474	434
	Escuelas Nuevas	0	21
	Escuelas Cerradas	0	40
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	77
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	233
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	6.675	5.57
	Máximo	100.73	29.96
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	92	98
	Máximo	564	676
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	67
	Máximo	0	220
	Mínimo	0	1
Capacidad Ociosa Promedio		22%	10%
Nº alumnos por profesor		18.115	20.65
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ -	\$ 268,159,854
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes	\$ -	\$ 85,147,293
	Directores	\$ 3,065,563,320	\$ 2,959,006,130
	Profesores	\$ 15,615,991,780	\$ 13,008,420,148
	Costo de Transporte	\$ 8,646,813,480	\$ 7,310,655,714
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 27,328,368,580</b>	<b>\$ 23,631,389,139</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 18,681,555,100</b>	<b>\$ 16,320,733,425</b>

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 32. Escuelas a cerrar, VII Región.**

<b>RBD</b>	<b>Matrícula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
2763	105	Preescolar y Básica	Municipal
2776	184	Preescolar y Básica	Municipal
2780	125	Preescolar y Básica	Municipal
2814	180	Preescolar y Básica	Municipal
2830	73	Básica	Municipal
2825	139	Preescolar y Básica	Municipal
2843	83	Preescolar y Básica	Municipal
2864	269	Media	Particular Subvencionado
16432	245	Media	Particular Subvencionado
2875	98	Básica	Municipal
2866	349	Preescolar y Básica	Municipal
2884	136	Básica	Municipal
2910	399	Preescolar, Básica y Media	Municipal
2977	133	Preescolar y Básica	Municipal
2933	0	Media	Municipal
2981	267	Preescolar y Básica	Municipal
3111	800	Preescolar y Básica	Municipal
3062	133	Preescolar y Básica	Municipal
3067	75	Básica	Municipal
3112	149	Preescolar y Básica	Municipal
3206	122	Preescolar y Básica	Municipal
16694	0	Media	Particular Subvencionado
3182	4	Básica	Municipal
3185	230	Preescolar y Básica	Municipal
3173	856	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3265	65	Preescolar y Básica	Municipal
3336	59	Preescolar y Básica	Municipal
3330	131	Preescolar y Básica	Municipal
3353	150	Preescolar y Básica	Municipal
3356	241	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3364	54	Básica	Municipal
3352	146	Básica	Municipal
16456	0	Básica	Particular Subvencionado

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
3460	784	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
3475	103	Básica	Municipal
3466	131	Preescolar y Básica	Municipal
3464	223	Preescolar y Básica	Municipal
3492	169	Preescolar y Básica	Municipal
3497	207	Preescolar y Básica	Municipal
3622	201	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

### 5.11 VIII Región del Biobío.

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 8.4 a 6.8 km. Para esto se requieren construir 43 nuevas escuelas, mientras que se cierran 40.

La reasignación de alumnos es un 18% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 33.** Tabla resumen, escenarios VIII Región.

		Actual	Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	676	636
	Escuelas Nuevas	0	43
	Escuelas Cerradas	0	40
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	211
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	280
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	8.48	6.83
	Máximo	118.17	30
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	69	70
	Máximo	1019	818
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	56
	Máximo	0	303
	Mínimo	0	2
Capacidad Ociosa Promedio		31%	25%
Nº alumnos por profesor		17.35	17.23
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ -	\$ 579,476,227
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes	\$ -	\$ 233,325,699
	Directores	\$ 4,159,950,160	\$ 4,197,760,810
	Profesores	\$ 20,287,235,200	\$ 18,020,942,398
	Costo de Transporte	\$ 12,225,414,510	\$ 9,572,151,102
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 36,672,599,870</b>	<b>\$ 32,603,656,236</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 24,447,185,360</b>	<b>\$ 23,031,505,134</b>

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 34.** Escuelas a cerrar, VIII Región.

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
3759	225	Preescolar y Básica	Municipal
3849	186	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3941	382	Preescolar y Básica	Municipal
3681	161	Preescolar y Básica	Municipal
3786	195	Preescolar y Básica	Municipal
3855	187	Preescolar y Básica	Municipal

<b>RBD</b>	<b>Matrícula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
3784	117	Preescolar y Básica	Municipal
3815	140	Preescolar y Básica	Municipal
4141	401	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3888	501	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3800	183	Preescolar, Básica y Media	Municipal
4158	129	Preescolar y Básica	Municipal
3980	254	Preescolar y Básica	Municipal
3776	83	Básica	Municipal
4852	91	Preescolar y Básica	Municipal
5074	257	Preescolar y Básica	Municipal
4839	156	Preescolar y Básica	Municipal
5057	207	Básica y Media	Municipal
5052	160	Preescolar y Básica	Municipal
5054	327	Preescolar, Básica y Media	Municipal
4622	122	Preescolar y Básica	Municipal
4354	312	Preescolar y Básica	Municipal
4052	144	Preescolar y Básica	Municipal
5039	267	Preescolar y Básica	Municipal
5121	170	Preescolar y Básica	Municipal
5172	151	Preescolar y Básica	Municipal
4812	260	Preescolar y Básica	Municipal
4019	160	Preescolar y Básica	Municipal
5202	214	Preescolar y Básica	Municipal
4844	73	Preescolar y Básica	Municipal
5178	91	Básica	Municipal
4190	547	Preescolar y Básica	Municipal
4357	85	Básica	Municipal
4200	299	Preescolar y Básica	Municipal
4837	264	Preescolar y Básica	Municipal
4902	221	Preescolar y Básica	Municipal
18004	698	Media	Municipal
17773	255	Media	Particular Subvencionado
4277	1585	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado

Fuente. Elaboración propia.

## **5.12 IX Región de la Araucanía.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 9.1 a 6.8 km. Para esto se requieren construir 31 nuevas escuelas, mientras que se cierran 40. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es prácticamente el doble con respecto a los que se deben agregar.

La reasignación de alumnos es un 20% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 35.** Tabla resumen, escenarios IX Región.

		Actual	Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	844	804
	Escuelas Nuevas	0	31
	Escuelas Cerradas	0	40
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	133
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	289
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.13	6.87
	Máximo	128.16	29.94
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	44	43
	Máximo	677	572
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	91
	Máximo	0	308
	Mínimo	0	1
Capacidad Ociosa Promedio		33%	23%
Nº alumnos por profesor		15.865	17.02
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ -	\$ 375,192,370
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes	\$ -	\$ 147,072,597
	Directores	\$ 3,078,181,370	\$ 3,076,910,310
	Profesores	\$ 14,453,131,110	\$ 12,449,848,098
	Costo de Transporte	\$ 10,039,481,970	\$ 7,749,409,584
	TOTAL	\$ 27,570,794,450	\$ 23,798,432,959
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 17,531,312,480	\$ 16,049,023,375

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 36.** Escuelas a cerrar, IX Región.

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
11527	306	Básica y Media	Particular Subvencionado
19974	833	Media	Particular Subvencionado
5290	107	Preescolar y Básica	Municipal

<b>RBD</b>	<b>Matrícula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
5326	122	Preescolar y Básica	Municipal
5327	165	Preescolar y Básica	Municipal
5338	40	Media	Municipal
5341	77	Básica	Municipal
5408	131	Preescolar y Básica	Municipal
5411	150	Preescolar y Básica	Municipal
5422	86	Básica	Municipal
5425	119	Preescolar y Básica	Municipal
5467	427	Media	Particular Subvencionado
5472	121	Básica	Municipal
5647	54	Preescolar y Básica	Municipal
6504	140	Preescolar y Básica	Municipal
6711	113	Preescolar y Básica	Municipal
6714	99	Preescolar y Básica	Municipal
6718	156	Preescolar y Básica	Municipal
19904	252	Media	Particular Subvencionado
5624	243	Preescolar y Básica	Municipal
5631	120	Preescolar y Básica	Municipal
5646	114	Preescolar y Básica	Municipal
5763	160	Preescolar y Básica	Particular Subvencionado
5806	224	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
5902	264	Preescolar y Básica	Municipal
5923	167	Media	Particular Subvencionado
6029	104	Preescolar y Básica	Municipal
6060	94	Básica	Municipal
6181	77	Básica	Municipal
6210	335	Básica y Media	Particular Subvencionado
6251	76	Básica	Municipal
6385	209	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
6392	180	Preescolar y Básica	Particular Subvencionado
6454	92	Preescolar y Básica	Municipal
6455	57	Preescolar y Básica	Municipal
6465	199	Básica y Media	Particular Subvencionado
6496	173	Básica y Media	Particular Subvencionado

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
6686	106	Básica	Particular Subvencionado
20095	188	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado
20074	306	Preescolar, Básica y Media	Particular Subvencionado

Fuente: Elaboración propia.

### 5.12.1 Corrida adicional: limitando escuelas a cerrar.

La IX región es una de las que contiene la mayor cantidad de escuelas particulares (subvencionadas o pagadas). Como cerrar una escuela particular representa una tarea mucho más complicada que una pública, por el hecho de lidiar con privados y no con un ente gubernamental, se realizó una corrida alternativa donde se fija que las escuelas particulares subvencionadas y privadas no pueden ser cerradas.

En este nuevo escenario, los niños en vez de viajar 6.87 km en promedio como lo mostrado en la optimización precedente ahora deben viajar 7.18 km. Aún así, esta cifra sigue siendo menor a la de la situación actual, donde viajaban 9.13 km en promedio.

**Tabla 37.** Tabla resumen, escenario extra IX Región.

		Actual	Nueva Optimización
Escuelas	Existentes	844	804
	Escuelas Nuevas	0	25
	Escuelas Cerradas	0	40
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	108
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	307
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.13	7.18
	Máximo	128.16	29.98
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	44	44.12
	Máximo	677	538
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	79.88
	Máximo	0	279.6
	Mínimo	0	1
Capacidad Ociosa Promedio		33%	23%
Nº alumnos por profesor		15.865	17.01
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ -	\$ 303,526,508
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes	\$ -	\$ 119,427,372
	Directores	\$ 3,078,181,370	\$ 2,948,405,930
	Profesores	\$ 14,453,131,110	\$ 12,462,366,776
	Costo de Transporte	\$ 10,039,481,970	\$ 8,024,300,322
	TOTAL	\$ 27,570,794,450	\$ 23,858,026,908
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 17,531,312,480	\$ 15,833,726,586

Fuente Elaboración propia.

**Tabla 38.** Escuelas a cerrar, IX Región.

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
5290	107	Preescolar y Básica	Municipal
5291	84	Básica	Municipal
5292	254	Básica	Municipal
5326	122	Preescolar y Básica	Municipal

5327	165	Preescolar y Básica	Municipal
5337	8	Básica	Municipal
5338	40	Media	Municipal
5341	77	Básica	Municipal
5408	131	Preescolar y Básica	Municipal
5411	150	Preescolar y Básica	Municipal
5422	86	Básica	Municipal
5425	119	Preescolar y Básica	Municipal
5431	41	Básica	Municipal
5472	121	Básica	Municipal
5647	54	Preescolar y Básica	Municipal
5846	46	Básica	Municipal
6711	113	Preescolar y Básica	Municipal
6714	99	Preescolar y Básica	Municipal
6718	156	Preescolar y Básica	Municipal
6732	124	Preescolar y Básica	Municipal
5623	72	Preescolar y Básica	Municipal
5624	243	Preescolar y Básica	Municipal
5625	92	Preescolar y Básica	Municipal
5627	43	Preescolar y Básica	Municipal
5631	120	Preescolar y Básica	Municipal
5638	91	Preescolar y Básica	Municipal
5646	114	Preescolar y Básica	Municipal
5648	42	Básica	Municipal
5649	46	Básica	Municipal
5902	264	Preescolar y Básica	Municipal
5905	65	Básica	Municipal
5990	55	Básica	Municipal
6036	84	Preescolar y Básica	Municipal
6060	94	Básica	Municipal
6170	75	Preescolar y Básica	Municipal
6178	54	Básica	Municipal
6181	77	Básica	Municipal
6251	76	Básica	Municipal
6454	92	Preescolar y Básica	Municipal
6455	57	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente: Elaboración propia.

### **5.13 X Región de Los Lagos. Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 9.3 a 7.4 km. Para esto se requieren construir 12 nuevas escuelas, mientras que se cierran 39. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original.

La reasignación de alumnos es un 19% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en la siguiente tabla.

**Tabla 39.** Tabla resumen, escenarios X Región (Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren).

		Actual	Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	411	372
	Escuelas Nuevas	0	12
	Escuelas Cerradas	0	39
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	95
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	86
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.31	7.48
	Máximo	106.01	29.94
	Mínimo	0.07	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	54	59
	Máximo	609	627
	Mínimo	0	2
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	46
	Máximo	0	132
	Mínimo	0	3
Capacidad Ociosa Promedio		26%	18%
Nº alumnos por profesor		17.8	19.83
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ -	\$ 129,435,314
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes	\$ -	\$ 105,051,855
	Directores	\$ 2,041,643,140	\$ 1,842,759,220
	Profesores	\$ 9,086,520,330	\$ 7,431,722,462
	Costo de Transporte	\$ 6,204,186,270	\$ 5,026,838,436
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 17,332,349,740</b>	<b>\$ 14,535,807,287</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 11,128,163,470</b>	<b>\$ 9,508,968,851</b>

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 40.** Escuelas a Cerrar, X Región Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren).

RBD	Matricula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
11548	279	Preescolar y Básica	Municipal
22293	30	Media	Municipal
7967	50	Básica	Municipal
22201	54	Media	Particular Subvencionado

7478	223	Preescolar y Básica	Municipal
7449	133	Preescolar y Básica	Municipal
7459	219	Preescolar, Básica y Media	Municipal
7460	171	Preescolar y Básica	Municipal
7470	281	Media	Particular Subvencionado
7552	31	Básica	Municipal
7580	6	Básica	Municipal
7583	53	Básica	Municipal
7588	13	Básica	Municipal
7592	9	Básica	Municipal
7593	186	Preescolar y Básica	Municipal
22292	10	Básica	Particular Subvencionado
7424	48	Básica	Municipal
7432	46	Básica	Municipal
7433	55	Básica	Municipal
7441	305	Básica y Media	Particular Subvencionado
7774	528	Preescolar y Básica	Municipal
7779	61	Básica	Municipal
7791	87	Básica	Municipal
7801	113	Preescolar y Básica	Municipal
7810	56	Básica	Municipal
7763	75	Básica	Municipal
7898	81	Básica	Municipal
7905	83	Básica	Municipal
7836	244	Preescolar, Básica y Media	Municipal
7654	156	Básica	Municipal
7659	638	Preescolar y Básica	Municipal
7682	107	Preescolar y Básica	Municipal
22302	342	Básica	Particular Subvencionado
7725	88	Preescolar y Básica	Municipal
7726	49	Básica	Municipal
7741	51	Básica	Municipal
8311	98	Básica	Municipal
8325	492	Preescolar y Básica	Municipal
22420	208	Básica	Municipal

Fuente Elaboración propia.

### **5.13.1 Corrida adicional: limitando escuelas a cerrar.**

Al igual que la IX región, la X región es una de las que contiene una gran cantidad de escuelas particulares (subvencionadas o pagadas). Se realizó una corrida alternativa donde se fija que las escuelas particulares subvencionadas y pagadas no pueden ser cerradas.

En este nuevo escenario, los niños en vez de viajar 7.48 km en promedio como lo mostrado en la optimización precedente ahora deben viajar 7.79 km. Aún así, esta cifra sigue siendo menor a la de la situación actual, donde viajaban 9.31 km en promedio.

**Tabla 41.**Tabla resumen, escenario extra X Región.

		Actual	Nueva Optimización
Escuelas	Existentes	411	371
	Escuelas Nuevas	0	15
	Escuelas Cerradas	0	40
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	84
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	91
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.31	7.795
	Máximo	106.01	30
	Mínimo	0.07	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	54	58.26
	Máximo	609	630.6
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	48.295
	Máximo	0	105
	Mínimo	0	5
Capacidad Ociosa Promedio		26%	19%
Nº alumnos por profesor		17.8	19.57
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ -	\$ 165,037,244
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes	\$ -	\$ 92,887,956
	Directores	\$ 2,041,643,140	\$ 1,830,005,060
	Profesores	\$ 9,086,520,330	\$ 7,283,956,490
	Costo de Transporte	\$ 6,204,186,270	\$ 5,118,742,758
	TOTAL	\$ 17,332,349,740	\$ 14,490,629,508
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 11,128,163,470	\$ 9,371,886,750

Fuente Elaboración propia.

**Tabla 42.** Escuelas a Cerrar, X Región Zona continental, desde el límite Norte hasta la altura de HornoPiren).

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
11548	279	Preescolar y Básica	Municipal
7967	50	Básica	Municipal
7478	223	Preescolar y Básica	Municipal
7491	40	Básica	Municipal

7496	119	Básica	Municipal
7449	133	Preescolar y Básica	Municipal
7450	88	Básica	Municipal
7459	219	Preescolar, Básica y Media	Municipal
7460	171	Preescolar y Básica	Municipal
7552	31	Básica	Municipal
7580	6	Básica	Municipal
7583	53	Básica	Municipal
7588	13	Básica	Municipal
7592	9	Básica	Municipal
7593	186	Preescolar y Básica	Municipal
7420	12	Básica	Municipal
7424	48	Básica	Municipal
7431	59	Preescolar y Básica	Municipal
7432	46	Básica	Municipal
7433	55	Básica	Municipal
7774	528	Preescolar y Básica	Municipal
7779	61	Básica	Municipal
7791	87	Básica	Municipal
7801	113	Preescolar y Básica	Municipal
7810	56	Básica	Municipal
7763	75	Básica	Municipal
7898	81	Básica	Municipal
7905	83	Básica	Municipal
7836	244	Preescolar, Básica y Media	Municipal
7651	403	Básica y Media	Municipal
7654	156	Básica	Municipal
7659	638	Preescolar y Básica	Municipal
7682	107	Preescolar y Básica	Municipal
7725	88	Preescolar y Básica	Municipal
7726	49	Básica	Municipal
7741	51	Básica	Municipal
8311	98	Básica	Municipal
8321	80	Básica	Municipal
8325	492	Preescolar y Básica	Municipal
22420	208	Básica	Municipal

Fuente Elaboración propia.

#### **5.14 X Región de Los Lagos. Zona continental, desde altura de Fiordo Reñihue hasta límite Sur de Región.**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 33 a 5 km. Para esto se requieren construir 4 nuevas escuelas, mientras que se cierran 3. A pesar de que se cuenta con 1 escuela más, el costo anual de profesores disminuye, pues los profesores de los nuevos establecimientos poseen un sueldo igual al promedio de la región, mientras que los sueldos en las escuelas cerradas eran inferiores a este promedio. Vale señalar que no sólo se cierran estas escuelas por tener un costo sobre la media, sino que el ahorro que obtienen los alumnos al viajar mucho menos con la ubicación de los nuevos recintos produce la decisión de cerrar y abrir.

La capacidad ociosa promedio aumenta, pues se tiene 1 escuela más en comparación a la situación original. Además los cambios que se producen en las escuelas existentes son mínimos (sólo se elimina 1 curso extra en total).

La reasignación de alumnos es un 20% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 43.** Tabla resumen, escenarios X Región (Zona continental, desde altura de Fiordo Reñihue hasta límite Sur de Región)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	13	10
	Escuelas Nuevas	0	4
	Escuelas Cerradas	0	3
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		0
	Eliminados en Escuelas Existentes		1
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	33	5.06
	Máximo	97.53	27.23
	Mínimo	0.49	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	12	8
	Máximo	61	17
	Mínimo	4	3
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		20
	Máximo		59
	Mínimo		1
Capacidad Ociosa Promedio		29%	35%
Nº alumnos por profesor		8.94	8.47
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 21,348,325
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		
	Directores	\$ 138,098,680	\$ 132,929,380
	Profesores	\$ 199,646,450	\$ 166,549,320
	Costo de Transporte	\$ 159,366,060	\$ 24,459,120
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 497,111,190</b>	<b>\$ 345,286,145</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 337,745,130</b>	<b>\$ 320,827,025</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 44.** Escuelas a Cerrar, X Región (Zona continental, desde altura de Fiordo Reñihue hasta límite Sur de Región)

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
8335	11	Básica	Municipal
8336	35	Básica	Municipal
8340	12	Básica	Municipal

Fuente: Elaboración propia.

### **5.15 X Región de Los Lagos. Zona Insular, Isla Grande de Chiloé.**

En esta zona, a pesar que la distancia promedio viajada por los alumnos se mantuvo prácticamente constante, se logró una importante reducción de costos. El número total de escuelas se disminuyó; se abrieron 5, mientras que se cerraron 20. Con esto se logra una reducción en los costos de profesores y directores.

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es mayor al número de cursos que se debe agregar.

La reasignación de alumnos es un 40% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 45.** Tabla resumen, escenarios X Región (Zona Insular, Isla Grande de Chiloé).

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	188	168
	Escuelas Nuevas	0	5
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		18
	Eliminados en Escuelas Existentes		45
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	5.21	5.66
	Máximo	57.04	29.35
	Mínimo	0.06	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	39	40
	Máximo	271	399
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		109
	Máximo		239
	Mínimo		7
Capacidad Ociosa Promedio		52%	14%
Nº alumnos por profesor		13.98	17.52
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 60,462,323
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 19,904,562
	Directores	\$ 1,650,497,190	\$ 1,507,329,430
	Profesores	\$ 4,560,092,570	\$ 3,373,512,452
	Costo de Transporte	\$ 1,136,084,040	\$ 1,234,018,002
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7,346,673,800</b>	<b>\$ 6,195,226,769</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 6,210,589,760</b>	<b>\$ 4,961,208,767</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 46.** Escuelas a Cerrar, X Región (Zona Insular, Isla Grande de Chiloé).

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
8051	157	Preescolar y Básica	Municipal
8053	104	Preescolar y Básica	Municipal
8085	82	Básica	Municipal
8092	92	Preescolar y Básica	Municipal

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
8100	180	Preescolar y Básica	Municipal
8103	106	Preescolar y Básica	Municipal
8006	200	Preescolar y Básica	Municipal
8019	47	Básica	Municipal
8022	84	Básica	Municipal
8027	77	Básica	Municipal
8207	56	Básica	Municipal
8230	58	Básica	Municipal
11553	60	Básica	Municipal
8112	53	Básica	Municipal
8158	46	Básica	Municipal
8159	52	Básica	Municipal
8263	61	Básica	Municipal
8290	48	Básica	Municipal
8113	99	Básica	Municipal
8117	155	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente: Elaboración propia.

## 5.16 XIV Región de Los Ríos.

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 11 a 7 km. Para esto se requieren construir 9 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se agregan no presenta una diferencia considerable con respecto a los que se deben eliminar.

La reasignación de alumnos es un 28% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 47.** Tabla resumen, escenarios XIV Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	375	355
	Escuelas Nuevas	0	9
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		127
	Eliminados en Escuelas Existentes		110
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	11.33	7.56
	Máximo	102.6	29.9
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	53	55
	Máximo	1198	522
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		35
	Máximo		110
	Mínimo		2
Capacidad Ociosa Promedio		29%	20%
Nº alumnos por profesor		16.59	17.79
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 100,019,073
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 140,437,743
	Directores	\$ 1,365,954,080	\$ 1,306,781,550
	Profesores	\$ 7,672,446,250	\$ 6,571,051,254
	Costo de Transporte	\$ 6,712,112,160	\$ 4,480,776,882
	TOTAL	\$ 15,750,512,490	\$ 12,599,066,502
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 9,038,400,330	\$ 8,118,289,620

Fuente. Elaboración propia

**Tabla 48.** Escuelas a cerrar, XIV Región

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
6984	258	Preescolar y Básica	Municipal
6986	149	Preescolar y Básica	Municipal
6991	67	Preescolar y Básica	Municipal
11591	234	Media	Municipal
7136	127	Preescolar y Básica	Municipal
7168	54	Básica	Municipal

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
22140	1026	Media	Particular Subvencionado
7303	187	Preescolar y Básica	Municipal
6899	529	Preescolar, Básica y Media	Municipal
22097	348	Media	Particular Subvencionado
6852	147	Preescolar y Básica	Municipal
6853	296	Preescolar, Básica y Media	Municipal
7061	183	Preescolar y Básica	Municipal
7064	91	Preescolar y Básica	Municipal
7085	243	Preescolar y Básica	Municipal
7108	242	Preescolar y Básica	Particular Subvencionado
7115	310	Preescolar y Básica	Particular Subvencionado
7122	225	Preescolar y Básica	Particular Subvencionado
22081	346	Media	Particular Subvencionado
6791	425	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

### 5.16.1 Corrida adicional: limitando escuelas a cerrar.

La XIV región es una de las que contiene una gran cantidad de escuelas particulares (subvencionadas o pagadas). Se realizó una corrida alternativa donde se fija que las escuelas particulares subvencionadas y privadas no pueden ser cerradas.

En este nuevo escenario, los niños en vez de viajar 7.56 km en promedio como lo mostrado en la optimización precedente ahora deben viajar 7.83 km. Aún así, esta cifra sigue siendo menor a la de la situación actual, donde viajaban 11.33 km en promedio.

**Tabla 49.** Tabla resumen, escenario extra XIV Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	375	355
	Escuelas Nuevas	0	13
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		88
	Eliminados en Escuelas Existentes		125
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	11.33	7.83
	Máximo	102.6	29.96
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	53	53.4
	Máximo	1198	600
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		60.58
	Máximo		289
	Mínimo		2
Capacidad Ociosa Promedio		29%	29%
Nº alumnos por profesor		16.59	16.59
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 149,284,272
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 97,311,192
	Directores	\$ 1,365,954,080	\$ 1,329,847,930
	Profesores	\$ 7,672,446,250	\$ 6,702,625,592
	Costo de Transporte	\$ 6,712,112,160	\$ 4,640,291,232
	TOTAL	\$ 15,750,512,490	\$ 12,919,360,218
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 9,038,400,330	\$ 8,279,068,986

**Tabla 50. Escuelas a cerrar, XIV Región**

<b>RBD</b>	<b>Matrícula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
7026	48	Básica	Municipal
6984	258	Preescolar y Básica	Municipal
6986	149	Preescolar y Básica	Municipal
6991	67	Preescolar y Básica	Municipal
11591	234	Media	Municipal
7136	127	Preescolar y Básica	Municipal
7147	69	Básica	Municipal
7168	54	Básica	Municipal
6899	529	Preescolar, Básica y Media	Municipal
6852	147	Preescolar y Básica	Municipal
6853	296	Preescolar, Básica y Media	Municipal
6889	2	Básica	Municipal
7212	74	Básica	Municipal
7061	183	Preescolar y Básica	Municipal
7064	91	Preescolar y Básica	Municipal
7071	55	Preescolar y Básica	Municipal
7083	70	Básica	Municipal
7085	243	Preescolar y Básica	Municipal
7100	86	Básica	Municipal
6791	425	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

### **5.17 XI Región de Aysén.**

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 31 a 13 km. Para esto se requieren construir 14 nuevas escuelas, mientras que se cierran 5. El hecho de tener más escuelas que en la situación original produce un aumento en los costos asociadas al funcionamiento de ellas (profesores y directores), además de requerir de una inversión en infraestructura.

Como se tienen más escuelas que en la situación original, y además se agregan más cursos de los que se quitan, la capacidad ociosa promedio de la región aumenta ya que la oferta disponible es mayor. La oferta creció pues aquellos alumnos que viajaban mucho ahora deben tener a lo menos una escuela disponible cerca (no más allá de 50 km, dado por la restricción de distancia máxima de viaje).

Se realizó una corrida adicional donde no se limita la distancia a viajar por los alumnos. Esta solución presenta menores costos y la capacidad ociosa disminuye a un 3%; no obstante existen alumnos que deben recorrer hasta 270 km para llegar a sus establecimientos. La reasignación de alumnos es un 34% para el primer escenario optimizado y un 18% para el segundo (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 51.** Tabla resumen, escenarios XI Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)	Escenario Optimizado (sin restricción de distancia)
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	22	17	17
	Escuelas Nuevas	0	14	1
	Escuelas Cerradas	0	5	5
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		11	0
	Eliminados en Escuelas Existentes		5	7
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	31.1	13.41	35.07
	Máximo	276.25	49.81	271.84
	Mínimo	0.18	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	69	64	86.06
	Máximo	245	186	258.2
	Mínimo	4	9	16
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		31	50
	Máximo		60	50
	Mínimo		1	50
Capacidad Ociosa Promedio		21%	49%	3%
Nº alumnos por profesor		13.16	10.58	18.91
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 130,921,848	\$ 6,166,438
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 12,163,899	\$ 0
	Directores	\$ 213,481,210	\$ 315,744,170	\$ 162,933,440
	Profesores	\$ 1,406,162,910	\$ 1,603,034,290	\$ 951,462,940
	Costo de Transporte	\$ 403,283,914	\$ 173,887,560	\$ 454,801,685
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 2,022,928,034</b>	<b>\$ 2,235,751,767</b>	<b>\$ 1,575,364,503</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 1,619,644,120</b>	<b>\$ 2,061,864,207</b>	<b>\$ 1,120,562,818</b>

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 52.** Escuelas a cerrar, XI Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.).

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
8358	103	Preescolar y Básica	Municipal
8372	36	Básica	Municipal
8398	109	Preescolar y Básica	Municipal
8403	68	Básica	Municipal
8405	52	Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

### 5.18 XII Región de Magallanes y Antártica Chilena.

En esta región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 80 a 13 km. Para esto se requieren construir 12 nuevas escuelas, mientras que se cierran 2. El hecho de tener más escuelas que en la situación original produce un aumento en los costos asociadas al funcionamiento de ellas (profesores y directores), además de requerir de una inversión en infraestructura.

Como se tienen más escuelas que en la situación original, y además se agregan más cursos de los que se quitan, la capacidad ociosa promedio de la región aumenta ya que la oferta disponible es mayor. La oferta creció pues aquellos alumnos que viajaban mucho ahora deben tener a lo menos una escuela disponible cerca (no más allá de 50 km, dado por la restricción de distancia máxima de viaje).

Se realizó una corrida adicional donde no se limita la distancia a viajar por los alumnos. Esta solución presenta menores costos y la capacidad ociosa disminuye a un 27 con respecto a la primera optimización; no obstante existen alumnos que deben recorrer hasta 148 km para llegar a sus establecimientos. La reasignación de alumnos es un 67% para el primer escenario optimizado y un 55% para el segundo (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 53.** Tabla resumen, escenarios XII Región.

		Escenario Actual	Escenario Optimizado (50 km distancia máx.)	Escenario Optimizado (sin restricción de distancia)
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	9	7	7
	Escuelas Nuevas	0	12	3
	Escuelas Cerradas	0	2	2
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		6	2
	Eliminados en Escuelas Existentes		2	2
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	80.66	13.99	24.39
	Máximo	329.03	48.4	148.49
	Mínimo	0.12	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	34	15	22.29
	Máximo	98	60	81
	Mínimo	8	1	1
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		17	50.67
	Máximo		50	52
	Mínimo		1	48
Capacidad Ociosa Promedio		18%	70%	27%
Nº alumnos por profesor		9.63	5.6	11
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 85,641,412	\$ 18,499,314
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 6,634,854	\$ 2,211,618
	Directores	\$ 67,384,740	\$ 168,393,380	\$ 76,343,640
	Profesores	\$ 313,744,210	\$ 402,766,420	\$ 236,369,750
	Costo de Transporte	\$ 212,946,214	\$ 36,924,909	\$ 64,379,961
	TOTAL	\$ 594,075,164	\$ 700,360,975	\$ 397,804,283
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 381,128,950	\$ 663,436,066	\$ 333,424,322

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 54.** Escuelas a cerrar, XII Región. Escenario Optimizado (50 km distancia máx.).

RBD	Matrícula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
8450	71	Preescolar y Básica	Municipal
8423	25	Básica	Municipal

Fuente. Elaboración propia.

### 5.19 Resultados según prueba SIMCE

Con los resultados de las pruebas SIMCE correspondientes al año 2007 para cuarto año básico, se realizó un contraste entre los puntajes promedio obtenidos por las escuelas que según el modelo deberían cerrarse y aquellas escuelas que deben permanecer abiertas.

De las escuelas actuales que no deberían cerrarse, sólo se tiene que un 31,6% de ellas tienen resultados para el SIMCE 2007 de cuarto año básico. Para las cerradas este porcentaje aumenta a un 72,5%.

Se aprecia que las escuelas a cerrar presentan mejores resultados en comparación a las que quedan abiertas. En promedio se tienen 3.4 puntos más en Lenguaje, 4.5 en Matemáticas y 4.7 en Ciencias Naturales. Este comportamiento se aprecia en la mayoría de las regiones, con excepción de la IV y XII donde las escuelas a cerrar presentan puntajes menores a las que deben quedar abiertas.

Estos resultados son presentados a modo de referencia, pero no establecen una tendencia puesto que las escuelas con puntaje SIMCE son una minoría respecto al global de escuelas rurales.

**Tabla 55.** Resultados SIMCE 2007 (cuarto básico) para las escuelas actuales que no deben cerrarse.

Región	Promedio de Lenguaje	Promedio de Matemáticas	Promedio de Ciencias Naturales	Escuelas con puntaje	Escuelas totales	Representación
I	225.6	215.0	221.0	5	29	17.2%
II	210.0	188.0	208.0	2	13	15.4%
III	241.3	228.8	226.3	4	36	11.1%
IV	246.3	229.7	239.2	82	368	22.3%
V	240.4	227.5	233.6	89	188	47.3%
VI	247.8	235.5	238.4	126	252	50.0%
VII	247.9	234.8	237.8	175	434	40.3%
VIII	236.6	221.4	226.4	200	637	31.4%
IX	234.6	213.6	219.8	199	804	24.8%
X	246.4	230.3	232.4	128	550	23.3%
XI	247.2	231.2	233.5	10	17	58.8%
XII	251.0	229.0	234.0	1	7	14.3%
RM	239.9	228.3	233.2	112	145	77.2%
XIV	244.0	226.5	232.0	83	355	23.4%
XV	228.0	219.0	224.0	1	17	5.9%
<b>Total general</b>	<b>241.8</b>	<b>226.5</b>	<b>231.3</b>	<b>1217</b>	<b>3852</b>	<b>31.6%</b>

Fuente. Elaboración propia.

**Tabla 56.** Resultados SIMCE 2007 (cuarto básico) para las escuelas que deben cerrarse.

Región	Promedio de Lenguaje	Promedio de Matemáticas	Promedio de Ciencias Naturales	Escuelas con puntaje	Escuelas totales	Representación
I	227.8	212.4	216.2	5	8	62.5%
II	242.0	225.0	236.0	1	4	25.0%
III	249.2	242.0	245.6	5	8	62.5%
IV	244.1	224.2	235.5	16	20	80.0%
V	260.3	246.8	249.4	16	20	80.0%
VI	255.3	242.0	248.8	16	20	80.0%
VII	248.8	241.8	240.7	33	40	82.5%
VIII	239.1	225.7	228.9	34	39	87.2%
IX	239.3	219.1	226.4	30	40	75.0%
X	246.2	229.0	233.2	37	62	59.7%
XI	242.0	233.0	245.0	3	5	60.0%
XII	216.0	218.0	205.0	1	2	50.0%
RM	242.9	232.9	241.3	15	20	75.0%
XIV	244.3	228.3	237.8	15	20	75.0%
XV	-	-	-	0.0	5	0.0%
<b>Total general</b>	<b>245.2</b>	<b>231.0</b>	<b>235.9</b>	<b>227</b>	<b>313</b>	<b>72.5%</b>

Fuente. Elaboración propia.

## 5.20 Comparación de Resultados al resolver regiones divididas.

Como se explicó al inicio de este capítulo, algunas regiones no fueron posibles de resolver usando computador estándar<sup>8</sup>. Esto debido a que el tamaño del problema resultante hacía que la memoria disponible fuera insuficiente. Luego, en una primera instancia una alternativa de solución escogida fue resolver estas regiones por partes. Estos resultados pueden ser consultados en el anexo 8.1.

Se analizaron los resultados obtenidos usando este método, contra el óptimo que fue alcanzado resolviendo la región completa utilizando una máquina de mayor capacidad<sup>9</sup>.

Luego, en la tabla 45 se puede ver la comparación de los resultados utilizando las distintas estrategias. Los resultados son muy similares: si se miran los costos totales (sin considerar transporte), las diferencias entre un enfoque y otro no superan el 4% por región; si se consideran los costos incluyendo el transporte esta diferencia aumenta, pero no más allá de un 5.5%. Las distancias promedio de viaje de los alumnos no varían en demasía, pero si se pueden ver algunas diferencias en índices como el número de escuelas a abrir.

Esto permite pensar que extrapolando estas conclusiones, la estrategia de resolver el país completo a nivel de regiones no debería ser una aproximación muy alejada de los resultados que se obtendrían al poder resolver el país en forma completa.

---

<sup>8</sup> Procesador Dual Core T3200, 2 GHz, 2 GB Ram y 10 GB libre en disco

<sup>9</sup> Procesador Core2Quad 2.8 GHz y 32 G ram (sistema operativo OSX). En este equipo, se configuro una maquina virtual (Vmware Fusion) donde se configuró el sistema operativo Windows 7, utilizando finalmente 2 procesadores (de los 8 procesadores disponibles) y 8 G en ram (de 32)

**Tabla 57.** Resultados para las regiones que fueron divididas.

		VII Región		VIII Región		IX Región		X Región (Zona Continental)	
		Optimizado por partes	Optimizado completo	Optimizado por partes	Optimizado completo	Optimizado por partes	Optimizado completo	Optimizado por partes	Optimizado completo
Escuelas	Existentes que permanecen abiertas	434	435	636	636	804	804	372	372
	Escuelas Nuevas	21	15	43	17	31	20	12	15
	Escuelas Cerradas	40	39	40	40	40	40	39	39
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	77	81	211	261	133	180	95	76
	Eliminados en Escuelas Existentes	233	230	280	275	289	281	86	88
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	5.57	5.78	6.83	6.825	6.87	6.96	7.48	7.755
	Máximo	29.96	29.94	30	29.96	29.94	29.96	29.94	29.96
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	98	98.315	70	71.835	43	45.35	59	57.48
	Máximo	676	669	818	795.4	572	577.2	627	748.8
	Mínimo	0	0	0	0	0	0	2	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	67	53.03	56	42.775	91	50.77	46	63.86
	Máximo	220	142.2	303	150	308	156	132	255.4
	Mínimo	1	7	2	2	1	1	3	15
Capacidad Ociosa Promedio		10%	9%	25%	18%	23%	22%	18%	17%
Nº alumnos por profesor		20.65	20.98	17.23	18.905	17.02	17.275	19.83	19.97
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ 268,159,854	\$ 189,262,385	\$ 579,476,227	\$ 203,535,241	\$ 375,192,370	\$ 204,437,854	\$ 129,435,314	\$ 142,797,000
	Inversión de Agregar	\$ 85,147,293	\$ 89,570,529	\$ 233,325,699	\$ 288,616,149	\$ 147,072,597	\$ 199,045,620	\$ 105,051,855	\$ 84,041,484

<b>Cursos en Escuelas Existentes</b>								
<b>Directores</b>	\$ 2,959,006,130	\$ 2,901,886,590	\$ 4,197,760,810	\$ 3,992,630,750	\$ 3,076,910,310	\$ 2,967,382,830	\$ 1,842,759,220	\$ 1,870,229,100
<b>Profesores</b>	\$ 13,008,420,148	\$ 12,889,584,090	\$ 18,020,942,398	\$ 17,330,666,332	\$ 12,449,848,098	\$ 12,221,015,378	\$ 7,431,722,462	\$ 7,272,340,908
<b>Costo de Transporte</b>	\$ 7,310,655,714	\$ 7,524,483,402	\$ 9,572,151,102	\$ 9,601,689,198	\$ 7,749,409,584	\$ 7,785,068,046	\$ 5,026,838,436	\$ 5,094,843,948
<b>TOTAL</b>	\$ 23,631,389,139	\$ 23,594,786,996	\$ 32,603,656,236	\$ 31,417,137,670	\$ 23,798,432,959	\$ 23,376,949,728	\$ 14,535,807,287	\$ 14,464,252,440
<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	\$ 16,320,733,425	\$ 16,070,303,594	\$ 23,031,505,134	\$ 21,815,448,472	\$ 16,049,023,375	\$ 15,591,881,682	\$ 9,508,968,851	\$ 9,369,408,492

Fuente. Elaboración propia.

## 5.21 Tiempos de Resolución.

En esta sección, se presentan los tiempos obtenidos en la resolución del problema para cada una de las regiones del país. Estos corresponden a las corridas realizadas con el siguiente hardware: procesador Dual Core T3200, 2 GHz, 2 GB Ram y 10 GB libre en disco.

**Tabla 58.** Tabla de tiempos de ejecución.

Región	Escenario Actual	Escenario Optimizado	Escenario Optimizado 2
I	51s	20m 38s	35m 9s
II	13s	25s	5m 54s
III	1m 53s	1h 55m 8s	3h 36 m 9s
IV	15m 44s	17m 18s	
V	10m 26s	16m 40s	
VI	23m 32s	27m 2s	
VII 1	27m 58s	24m 26s	
VII 2	20m 9s	27m 37s	
VIII 1	22m 33s	1h 16m 56s	
VIII 2	30m 57s	1h 42m 16s	
IX 1	29m 27s	1h 23m 53s	
IX 2	41m 24s	2h 14m 19s	
X 1	14m 30s	32m 13s	
X 2	6m 30s	5m 35s	
X 3	4s	6s	
X 4	4m 43s	35m 28s	
XI	47s	13m 46s	
XII	11s	36s	2m 54s
RM	15m 40s	22m 53s	
XIV	25m 26s	40m 5s	
XV	20s	2m 26s	1m 28s

Fuente. Elaboración propia.

Con esto, se puede ver que en la mayoría de los casos el problema es resuelto en tiempos menores a 30 minutos, lo que se considera razonable considerando el gran número de variables que se manejan.

## 6 Conclusiones

En este estudio se ha diseñado un modelo e implementado una herramienta computacional que entrega la localización de establecimientos educacionales rurales y la asignación de alumnos a ellos desde sus lugares de residencia que minimiza los costos de construcción y operación de los establecimientos y los costos de transporte de los alumnos sujeto a restricciones de factibilidad física, técnica y económica a estándares predeterminados por el usuario. Dado que el modelo permite asignar alumnos a los establecimientos, también permite calcular sus matrículas en los diferentes grados escolares, de modo que con la aplicación del modelo junto con obtener la localización de establecimientos, se estima la infraestructura (salas por grado) y el número de profesores necesarios para atender a estos alumnos.

Es interesante observar que este modelo considera la situación actual en varios sentidos:

1. Evalúa la configuración actual de establecimientos y propone modificaciones de estos, que van desde su ampliación, pasando por su reducción de tamaño hasta su eventual cierre y la apertura de nuevos establecimientos cuando es necesario. En este contexto, el usuario puede controlar el grado de transformación de la situación actual que permita incorporar objetivos y restricciones de índole diferente a los considerados en el modelo, por ejemplo del ámbito político, cultural y de la gestión del sistema educacional en Chile, esto a través de la especificación de escuelas que no pueden ser cerradas o modificadas.
2. Utiliza la información existente de la realidad actual para definir la mayor parte de los parámetros y condiciones que se usan en el modelo, para así representar de manera pragmática la educación rural en Chile.

3. Permite generar una evaluación económica de la situación actual que se usa como referencia para comparar la eficiencia económica de la configuración optimizada que propone el modelo. Es decir, el propio modelo desarrollado permite evaluar los costos de operación de los establecimientos actualmente existentes y estimar el costo de transporte que incurrirían los alumnos para concurrir a estas unidades educativas, asumiendo incluso, que este es mínimo. Esta estimación se compara con los costos optimizados que arroja el modelo correspondiente a una nueva configuración de establecimientos y de asignaciones de alumnos a éstos. Este análisis, le permite al usuario cuantificar la ganancia que significaría la implementación de la configuración de establecimientos propuestas por el modelo.

El usuario puede por lo tanto optimizar la situación actual, pero también efectuar una estimación de la configuración de los establecimientos educacionales rurales en el futuro acorde al crecimiento estimado de la demanda.

En cuanto al modelo, en este estudio se ha desarrollado su especificación conceptual para establecer su ámbito estratégico de aplicación y también, se ha detallado su formulación matemática para conocer sus componentes específicas. Este modelo se ha implementado en un software para su aplicación inmediata, que también es un producto en continuo desarrollo y perfeccionamiento como herramienta de planificación estratégica.

Considerando el gran tamaño y complejidad del modelo propuesto la herramienta computacional desarrollada descansa en la utilización de software comercial especializado en la resolución de problemas de optimización de variables continuas y discretas y con restricciones (Cplex y Gams). Por lo tanto, para la utilización de esta herramienta MINEDUC debe disponer de licencias de este software.

En este estudio se presenta una aplicación del modelo desarrollado a nivel de Chile. Debido al tamaño del problema de optimización asociado al modelo fue necesario descomponerlo por área geográfica, resolviéndose problemas

independientes en las 15 regiones que conforman el país. Además, la décima región fue la única región que fue dividida en 3 subregiones. Esta división se realizó debido a que conforman subsistemas independientes de oferta y demanda educacional.

La estrategia de resolver el problema de optimización por área geográfica y no integradamente se debe a limitaciones de hardware y a la existencia de áreas aisladas que pueden asumirse como sistemas cerrados. No obstante, se efectuaron corridas de prueba en algunas regiones, resolviéndose el problema integrada y separadamente, constatándose en estos casos, que ambas estrategias producen resultados similares en costos (existiendo diferencias debido a porcentajes de error provenientes de la optimización) y en las escuelas que se propone cerrar.

En cada una de las regiones y subregiones se efectuaron dos corridas del modelo; una para evaluar la situación actual y la otra correspondiente a una situación optimizada de la anterior para evaluar la magnitud en la disminución de los costos. En esta situación optimizada se impone que ningún alumno recorra una distancia mayor que 30 Km para llegar a su escuela, salvo en las regiones extremas del país, en las regiones I, II, III, XI, XII y XV, donde se permite una distancia máxima igual a 50 Km. Además, en todas las regiones no se permite cerrar más de 20 establecimientos o el 20% del total de escuelas (eligiendo el menor entre ambos, a excepción de las regiones VII, VIII, IX y X donde se permite cerrar 40 dado que poseen un gran número de establecimientos). Esta es una restricción paramétrica del modelo, la cual puede ser modificada de acuerdo a los requerimientos del planificador (el modelo podría dar como resultados costos menores si se permitiera que más escuelas fueran cerradas). El modelo puede aplicarse también en otras situaciones, por ejemplo con otros parámetros de borde y para cortes temporales futuros.

En términos generales, se observa que la optimización de la configuración de establecimientos educacionales tiene impactos muy positivos ya sea reduciendo significativamente los costos totales y cuando ello no es posible, reduciendo

ostensiblemente el desplazamiento de los alumnos. Esto es especialmente relevante si se tiene en cuenta que la matrícula se mantiene y en la mayoría de las regiones se abren escuelas nuevas.

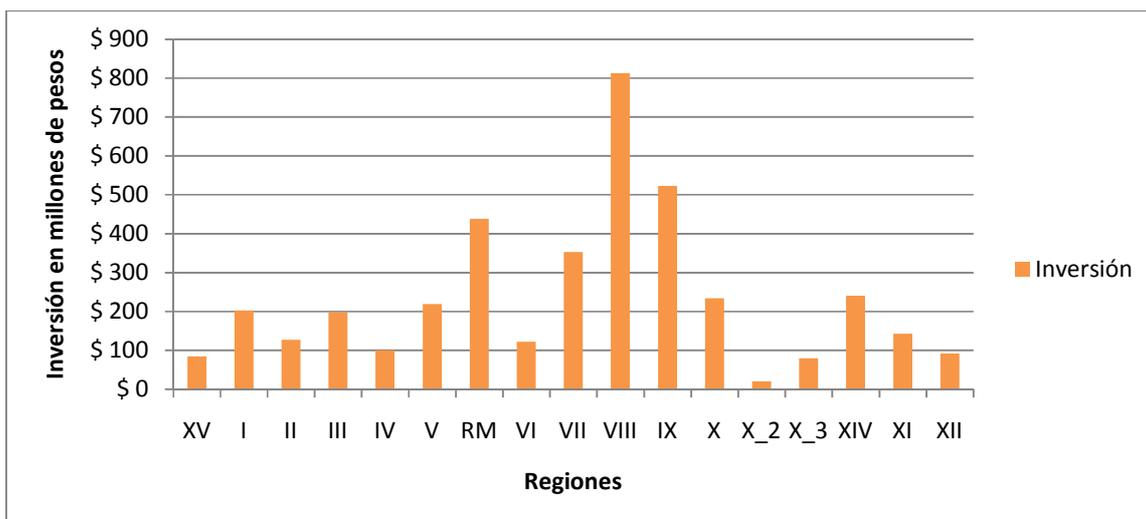
Al analizar los resultados por cada región, se aprecia que en las regiones de los extremos norte y sur del país (regiones XV, I, II, III, XI y XII) los costos totales de las situaciones optimizadas son superiores en un 35% a los de la situación actual (el peor caso ocurre en la II región, donde se aumentan los costos en un 98%) y se deben construir más escuelas que las que se cierran. Esto se debe a que en estas regiones existen alumnos residentes en entidades ubicadas muy lejos de los establecimientos actuales, razón por la cual se deben realizar inversiones en nuevos establecimientos que permitan atender a tales alumnos para satisfacer la restricción de cercanía a los recintos.

En estas regiones existe un trade-off entre construir nuevas escuelas para reducir la distancia a viajar por los alumnos o ahorrarse esta construcción imponiendo largos viajes a los alumnos. Para apreciar este hecho, en estas regiones extremas se realizó una corrida adicional sin imponer restricción de distancia en el viaje de los alumnos a las escuelas obteniéndose un resultado cuyos costos totales son inferiores a los de la situación actual. Ciertamente, estos ahorros se obtienen a costa de desplazamientos más largos de los alumnos. Complementariamente a lo anterior, para estas regiones se puede estudiar la utilización de sistemas dedicados de transporte para los alumnos que los traslade de una manera eficiente evitando que incurran en grandes costos, por ejemplo, con la utilización de subsidios especiales.

En las regiones del centro del país, se aprecia una gran competencia con una sobreoferta de escuelas. Esto se refleja en los resultados, pues la cantidad de escuelas cerradas es mayor al número de establecimientos que se deben abrir. Con la aplicación del modelo es posible reducir los costos totales en un 13%, cerrando unas escuelas y reubicando otras de modo de obtener menores distancias de viaje de los alumnos y costos de operación.

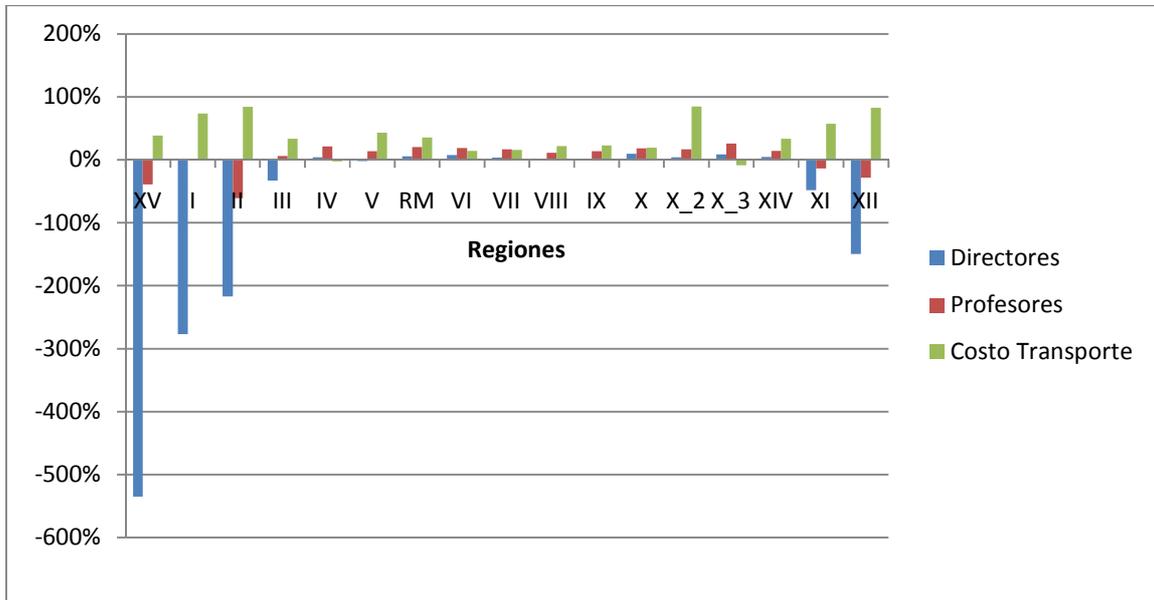
Gráficamente, se pueden apreciar los ahorros logrados e inversiones requeridas por cada región mediante los siguientes gráficos:

**Gráfico 4.** Inversión requerida por región (en millones de pesos anuales). Usando restricción de distancia de 50 km en regiones extremas



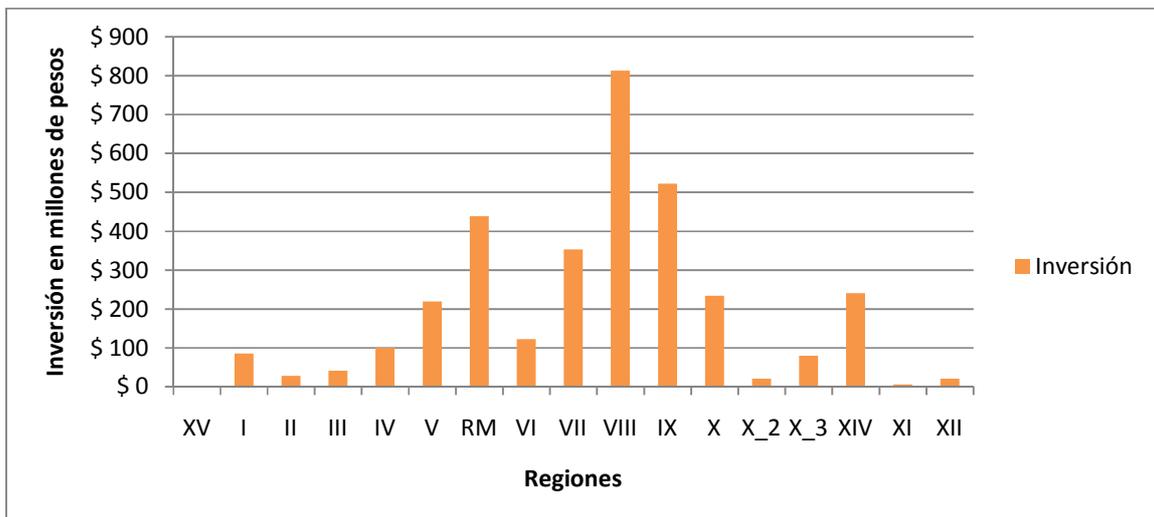
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 5.** Ahorro en costos respecto a situación base. Usando restricción de distancia de 50 km en regiones extremas



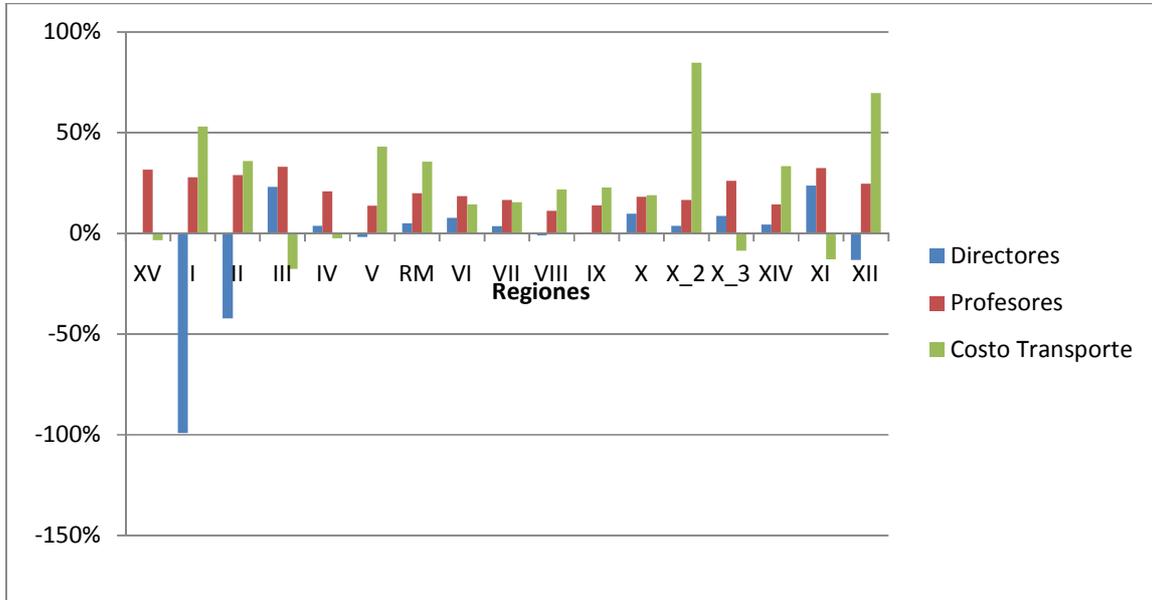
Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 6.** Inversión requerida por región (en millones de pesos anuales). No se usa restricción de distancia de 50 km en regiones extremas.



Fuente: Elaboración propia.

**Gráfico 7.** Ahorro en costos respecto a situación base. No se usa restricción de distancia de 50 km en regiones extremas



Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se observa que en todas las regiones las escuelas que deben ser cerradas corresponden mayoritariamente a establecimientos municipales, lo cual debe mirarse con precaución, porque estos recintos pueden tener usos comunitarios adicionales a los de educación. Sin embargo, la distribución de escuelas cerradas sigue la distribución por dependencia; vale decir, la predominancia de cierre de establecimientos municipales se da por el hecho de que este tipo de escuelas son mayoría en el país.

**Tabla 59.** Distribución de la dependencia de colegios existentes versus los colegios que cierra el modelo.

Dependencia de colegios existentes				Dependencia de colegios cerrados			
Región	Municipal	Subvencionado	Privado	Región	Municipal	Subvencionado	Privado
1	97.30%	0.00%	2.70%	1	100.00%	0.00%	0.00%
2	100.00%	0.00%	0.00%	2	100.00%	0.00%	0.00%
3	93.18%	4.55%	2.27%	3	87.50%	0.00%	12.50%
4	84.28%	15.21%	0.52%	4	85.00%	15.00%	0.00%
5	91.35%	7.69%	0.96%	5	75.00%	20.00%	5.00%
6	94.49%	4.41%	1.10%	6	90.00%	5.00%	5.00%
7	95.36%	4.01%	0.63%	7	87.50%	12.50%	0.00%
8	90.98%	8.73%	0.30%	8	94.87%	5.13%	0.00%
9	51.78%	48.22%	0.00%	9	62.50%	37.50%	0.00%
10	79.25%	20.59%	0.16%	10	91.94%	8.06%	0.00%
11	100.00%	0.00%	0.00%	11	100.00%	0.00%	0.00%
12	100.00%	0.00%	0.00%	12	100.00%	0.00%	0.00%
13	80.00%	17.58%	2.42%	13	65.00%	30.00%	5.00%
14	57.33%	42.40%	0.27%	14	70.00%	30.00%	0.00%
15	95.45%	4.55%	0.00%	15	100.00%	0.00%	0.00%
<b>Total general</b>	78.18%	21.34%	0.48%	<b>Total general</b>	83.71%	15.02%	1.28%

Fuente: Elaboración propia.

Otra característica distintiva de la solución optimizada es que la mayor parte de los establecimientos nuevos son pequeños. Los resultados indican que en cada una de las regiones (a excepción de la Región Metropolitana), el número de alumnos promedio que asiste a las nuevas escuelas es menor a 80. Esto se explica en parte por la gran cantidad de escuelas existentes para atender a los alumnos y a

que estas aumentan su matrícula en promedio, agregando cursos a los que tienen inicialmente. En este escenario las escuelas nuevas contribuyen a reducir el costo de transporte de los alumnos; conjuntamente el tener menores tiempos de viaje conlleva a tener una mejor calidad de vida. Por el contrario, en la Región Metropolitana, las escuelas a abrir deben ser grandes, posiblemente debido a que en esta región se concentra la mayor parte de demanda rural (18.8% del total según los registros del Directorio de Matrícula 2007).

## 7 Bibliografía

1. A LEY creación de nuevas regiones [en línea]. La Nación, Enlace Regional. 19 de diciembre, 2006.  
<[http://www.lanacion.cl/prontus\\_noticias/site/artic/20061219/pags/20061219152219.html](http://www.lanacion.cl/prontus_noticias/site/artic/20061219/pags/20061219152219.html)> [consulta: 10 de junio 2010]
2. AGUILERA, M. 2005 Las nuevas Proyecciones de Población [en línea] <[http://www.ine.cl/canales/sala\\_prensa/archivo\\_documentos/enfoques/2005/files/seminario0905/inauguracion/maximoaguilera.pps](http://www.ine.cl/canales/sala_prensa/archivo_documentos/enfoques/2005/files/seminario0905/inauguracion/maximoaguilera.pps)> [consulta: 18 de julio 2010]
3. ANTUNES A., PEETERS D. 2000. A dynamic optimization model for school network planning, Socio Economic Planning Sciences 34: 101-120
4. BALINSKI, M.L. 1965. Integer programming: methods, uses, computation. Management Science, 12(3): 253-313.
5. BREALEY, R.A. ; MYERS, S.C. 1998. Fundamentos De Financiación Empresarial, 5º ed. Madrid, McGraw-Hill
6. BROSEGHINI, F. ; DOMINGUES, N. ; NOGUIERA, L. 2003. “Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não-capacitado: caso de vitória/es”, Pesquisa Operacional 24(1)
7. COHE, E. ; MARTINEZ, R. ; DONOSO, P. ; AGUIRRE, F. ; ORELLANA H. 2003. Modelo de Planificación Óptima de la Localización de Infraestructura Educativa, En: 12º Congreso Panamericano de Ingeniería de Tránsito y Transporte. Quito, Ecuador.
8. DELL, R. F. ; EWING, P. L. ; TARANTINO, W. J. 2008. Optimally Stationing Army Forces, INTERFACES 38(6): 421-435
9. GAC, I. ; MARTINEZ, F. ; WEINTRAUB, A. 2006. Modelo de Optimización lineal determinístico para la localización de colegios, Revista Ingeniería de Sistemas Volumen XX

10. INE, CENSO 2002 [en línea] <<http://www.ine.cl/cd2002/index.php>> [consulta: 7 de agosto 2008]
11. MARIANOV, V. ; TABORGA, P. 2001. Optimal location of public health centres which provide free and paid services, *Journal of the Operational Research Society* 52(4): 391-400
12. MARTINEZ, F. ; TAMBLAY, L. ; WEINTRAUB, A. 2007. A model of schools locations: equilibrium and optimal solutions, *Environment and Planning A* (por aparecer)
13. MINEDUC 2002-2007, Directorio de Establecimientos y Matrículas [base de datos], Departamento de Estudios y Desarrollo. [consulta: 5 de septiembre 2008]
14. MINEDUC 2006, Información de remuneraciones del personal docente [base de datos]. [consulta: 20 de enero 2009]
15. MINEDUC 2008, Costos de inversión en infraestructura de proyectos ejecutados [base de datos]. [consulta: 26 de enero 2009]
16. OWEN, S. H. ; DASKIN, M. S. 1998. Strategic facility location: A review. *European Journal of Operational Research* 111(3): 423-477
17. PIZZOLATO, N.D., 1994. A heuristic for large-size p-median location problems with application to school location, *Annals of Operations Research*, 50(1): 473-485.
18. PIZZOLATO, N.D., FRAGA DA SILVA H.B., 1997, The location of Public Schools: Evaluation of Practical experiences, *International Transactions in Operational Research*, 4(1): 13-22.
19. PIZZOLATO, N.D., BROSEGHINI BARCELOS F., LORENA, L. 2004, School location methodology in urban areas of developing countries, *International Transactions in Operational Research*, 11: 667-681.
20. REVELLE, C.S. ; EISELT, H.A. 2005. Location analysis: A synthesis and survey. *European Journal of Operational Research* 165(1): 1-19

21. REVELLE, C.S. ; EISELT, H.A. ; DASKIN, M.S. 2008. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research* 184(3): 817-848
22. REVELLE, C.S. ; SWAIN, R.W. 1970. Central facilities location. *Geographical Analysis* 2, 1: 30-. 42.
23. SCHILLING, D.A. ; VAIDYANATHAN, J. ; BARKHI, R. 1993 A review of covering problems in facility location, *Location Science*, 1: 25-55
24. SERRA, D. ; MARIANOV, V. 1998. The p-median problem in a changing network: the case of Barcelona, *Location Science* 6(1-4): 383-394
25. ZUÑIGA, C. 2009. Estudio de Variables que inciden en la Calidad y en la Elección de Establecimientos Rurales para el Desarrollo de un Sistema de Localización. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

## **8 Anexos**

### **8.1 Anexos Resultados**

En esta sección se presentan los resultados de las regiones más grandes (en número de entidades y escuelas), las cuales fueron divididas de forma de poder ser resueltas usando un computador personal de características estandar<sup>10</sup>.

#### **8.1.1 VII Región del Maule (Zona 1)**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 6 a 5 km. Para esto se requieren construir 10 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

Dentro de las escuelas cerradas, aparecen algunas que durante el año 2007 registraron 0 alumnos. Esto se debe a que éstas son escuelas de educación especial o adultos.

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es más del triple con respecto a los que se deben agregar.

La reasignación de alumnos es un 16% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

---

<sup>10</sup> Procesador Dual Core T3200, 2 GHz, 2 GB Ram y 10 GB libre en disco

**Tabla 60.** Tabla resumen, escenarios VII región(Zona 1).

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	255	235
	Escuelas Nuevas	0	10
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		41
	Eliminados en Escuelas Existentes		144
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	6.04	5.41
	Máximo	62.9	29.94
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	97	103
	Máximo	564	669
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		58
	Máximo		142
	Mínimo		7
Capacidad Ociosa Promedio		19%	9%
Nº alumnos por profesor		18.46	21.05
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 124,301,963
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 45,338,169
	Directores	\$ 1,506,949,980	\$ 1,444,924,960
	Profesores	\$ 8,722,815,590	\$ 7,258,250,368
	Costo de Transporte	\$ 4,492,730,490	\$ 4,028,453,352
	TOTAL	\$ 14,722,496,060	\$ 12,901,268,812
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 10,229,765,570	\$ 8,872,815,460

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 61.** Escuelas a cerrar, VII región (Zona 1)

RBD	Matricula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
2763	105	Preescolar y Básica	Municipal
2776	184	Preescolar y Básica	Municipal
2780	125	Preescolar y Básica	Municipal
2803	214	Preescolar y Básica	Municipal
2830	73	Básica	Municipal
2864	269	Media	Subvencionado
2842	211	Preescolar y Básica	Municipal
2875	98	Básica	Municipal
2866	349	Preescolar y Básica	Municipal
2884	136	Básica	Municipal
2910	399	Preescolar, Básica y Media	Municipal
2977	133	Preescolar y Básica	Municipal
2933	0	Media	Municipal
2981	267	Preescolar y Básica	Municipal
3111	800	Preescolar y Básica	Municipal
3085	122	Básica	Municipal
3062	133	Preescolar y Básica	Municipal
3067	75	Básica	Municipal
3206	122	Preescolar y Básica	Municipal
3222	0	Básica	Municipal

Fuente: Elaboración propia.

### **8.1.2 VII Región del Maule (Zona 2)**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 7 a 6 km. Para esto se requieren construir 5 nuevas escuelas, mientras que se cierran 19. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

Dentro de las escuelas cerradas, aparecen algunas que durante el año 2007 registraron 0 alumnos. Esto se debe a que éstas son escuelas de educación especial o adultos.

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es más del doble con respecto a los que se deben agregar.

La reasignación de alumnos es un 15% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 62.** Tabla resumen, escenarios VII región (Zona 2)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	219	200
	Escuelas Nuevas	0	5
	Escuelas Cerradas	0	19
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		40
	Eliminados en Escuelas Existentes		86
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	7.31	6.15
	Máximo	100.73	29.89
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	86	94
	Máximo	480	636
	Mínimo	0	1
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		48
	Máximo		60
	Mínimo		19
Capacidad Ociosa Promedio		24%	9%
Nº alumnos por profesor		17.77	20.91
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 64,960,422
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 44,232,360
	Directores	\$ 1,558,613,340	\$ 1,456,961,630
	Profesores	\$ 6,893,176,190	\$ 5,631,333,722
	Costo de Transporte	\$ 4,154,082,990	\$ 3,496,030,050
	TOTAL	\$ 12,605,872,520	\$ 10,693,518,184
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 8,451,789,530	\$ 7,197,488,134

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 63. Escuelas a cerrar, VII región (Zona 2)**

<b>RBD</b>	<b>Matricula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
3182	4	Básica	Municipal
3185	230	Preescolar y Básica	Municipal
3173	856	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3265	65	Preescolar y Básica	Municipal
3273	81	Preescolar y Básica	Municipal
3336	59	Preescolar y Básica	Municipal
3330	131	Preescolar y Básica	Municipal
3353	150	Preescolar y Básica	Municipal
3356	241	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3364	54	Básica	Municipal
3352	146	Básica	Municipal
3383	42	Básica	Municipal
16456	0	Básica	Subvencionado
3460	784	Preescolar, Básica y Media	Subvencionado
3475	103	Básica	Municipal
3466	131	Preescolar y Básica	Municipal
3464	223	Preescolar y Básica	Municipal
3492	169	Preescolar y Básica	Municipal
3497	207	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente: Elaboración propia.

### **8.1.3 VII Región del Maule**

Mirando la región en forma completa (zonas 1 y 2 juntas), la distancia promedio disminuye de 6 a 5 km. En total, se deben cerrar 39 escuelas abriéndose 15. Para ver el detalle por zona, remitirse al anexo 8.1.1 y 8.1.2. Cabe señalar que 34 de las 39 escuelas cerradas corresponden a las mismas que se cerraron cuando se corrió la región en forma completa.

**Tabla 64.** Tabla resumen, escenarios VII región.

		<b>Escenario Actual</b>	<b>Escenario Optimizado</b>
<b>Escuelas</b>	<b>Existentes</b>	474	435
	<b>Escuelas Nuevas</b>	0	15
	<b>Escuelas Cerradas</b>	0	39
<b>Cursos</b>	<b>Agregados en Escuelas Existentes</b>	0	81
	<b>Eliminados en Escuelas Existentes</b>	0	230
<b>Distancia recorrida por alumno [km]</b>	<b>Promedio</b>	6.675	5.78
	<b>Máximo</b>	100.73	29.94
	<b>Mínimo</b>	0	0
<b>Nº alumnos por colegio (Existentes)</b>	<b>Promedio</b>	92	98
	<b>Máximo</b>	564	669
	<b>Mínimo</b>	0	0
<b>Nº alumnos por colegio (Nuevos)</b>	<b>Promedio</b>	0	53
	<b>Máximo</b>	0	142
	<b>Mínimo</b>	0	7
<b>Capacidad Ociosa Promedio</b>		22%	9%
<b>Nº alumnos por profesor</b>		18.115	20.98
<b>Costos</b>	<b>Inversión en Nuevas Escuelas</b>		\$ 189,262,385
	<b>Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes</b>		\$ 89,570,529
	<b>Directores</b>	\$ 3,065,563,320	\$ 2,901,886,590
	<b>Profesores</b>	\$ 15,615,991,780	\$ 12,889,584,090
	<b>Costo de Transporte</b>	\$ 8,646,813,480	\$ 7,524,483,402
	<b>TOTAL</b>	\$ 27,328,368,580	\$ 23,594,786,996
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	\$ 18,681,555,100	\$ 16,070,303,594

Fuente. Elaboración propia.

#### **8.1.4 VIII Región del Biobío (Zona 1)**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 7 a 6 km. Para esto se requieren construir 5 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

Dentro de las escuelas cerradas, aparecen algunas que durante el año 2007 registraron 0 alumnos. Esto se debe a que éstas son escuelas de educación especial o adultos.

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es mayor al número de cursos que se debe agregar.

La reasignación de alumnos es un 23% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 65.** Tabla resumen, escenarios VIII región (Zona 1)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	272	252
	Escuelas Nuevas	0	5
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		87
	Eliminados en Escuelas Existentes		116
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	7.42	6.69
	Máximo	68.6	29.96
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	66	70
	Máximo	548	617
	Mínimo	0	1
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		36
	Máximo		95
	Mínimo		2
Capacidad Ociosa Promedio		30%	14%
Nº alumnos por profesor		16.14	18.25
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 54,879,803
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 96,205,383
	Directores	\$ 1,742,887,670	\$ 1,617,906,170
	Profesores	\$ 8,227,105,680	\$ 6,664,008,346
	Costo de Transporte	\$ 3,973,601,700	\$ 3,579,591,654
	TOTAL	\$ 13,943,595,050	\$ 12,012,591,356
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 9,969,993,350	\$ 8,432,999,702

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 66. Escuelas a cerrar, VIII región (Zona 1)**

<b>RBD</b>	<b>Matricula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
3678	164	Preescolar y Básica	Municipal
3703	140	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3759	225	Preescolar y Básica	Municipal
3849	186	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3941	382	Preescolar y Básica	Municipal
3681	161	Preescolar y Básica	Municipal
3865	672	Media	Subvencionado
3856	0	Preescolar y Básica	Municipal
3786	195	Preescolar y Básica	Municipal
3855	187	Preescolar y Básica	Municipal
3784	117	Preescolar y Básica	Municipal
3815	140	Preescolar y Básica	Municipal
12006	87	Media	Municipal
4141	401	Preescolar, Básica y Media	Municipal
3800	183	Preescolar, Básica y Media	Municipal
4158	129	Preescolar y Básica	Municipal
3887	451	Básica y Media	Municipal
3980	254	Preescolar y Básica	Municipal
3776	83	Básica	Municipal
17849	0	Media	Subvencionado

Fuente: Elaboración propia.

### **8.1.5 VIII Región del Biobío (Zona 2)**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 9 a 6 km. Para esto se requieren construir 12 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además aun cuando en las escuelas existentes el número de cursos agregados es mayor a los que se quitan, esta diferencia no es sustancial.

La reasignación de alumnos es un 22% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 67.** Tabla resumen, escenarios VIII región (Zona 2)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	404	384
	Escuelas Nuevas	0	12
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		174
	Eliminados en Escuelas Existentes		159
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.54	6.96
	Máximo	118.17	29.96
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	71	74
	Máximo	1019	795
	Mínimo		0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		50
	Máximo		150
	Mínimo		4
Capacidad Ociosa Promedio		32%	22%
Nº alumnos por profesor		18.56	19.56
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 148,655,438
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 192,410,766
	Directores	\$ 2,417,062,490	\$ 2,374,724,580
	Profesores	\$ 12,060,129,520	\$ 10,666,657,986
	Costo de Transporte	\$ 8,251,812,810	\$ 6,022,097,544
	TOTAL	\$ 22,729,004,820	\$ 19,404,546,314
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 14,477,192,010	\$ 13,382,448,770

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 68. Escuelas a cerrar, VIII región (Zona 2)**

<b>RBD</b>	<b>Matrícula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
4852	91	Preescolar y Básica	Municipal
5074	257	Preescolar y Básica	Municipal
4871	200	Básica	Municipal
4839	156	Preescolar y Básica	Municipal
5057	207	Básica y Media	Municipal
5054	327	Preescolar, Básica y Media	Municipal
4354	312	Preescolar y Básica	Municipal
12059	226	Básica y Media	Subvencionado
4052	144	Preescolar y Básica	Municipal
5039	267	Preescolar y Básica	Municipal
5121	170	Preescolar y Básica	Municipal
4812	260	Preescolar y Básica	Municipal
4019	160	Preescolar y Básica	Municipal
4051	174	Preescolar y Básica	Municipal
4190	547	Preescolar y Básica	Municipal
4334	279	Preescolar y Básica	Municipal
4200	299	Preescolar y Básica	Municipal
4837	264	Preescolar y Básica	Municipal
18004	698	Media	Municipal
4277	1585	Preescolar, Básica y Media	Subvencionado

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.6 VIII Región del Biobío

Observando la región en forma completa (zonas 1 y 2 juntas), la distancia promedio disminuye de 8 a 6 km. En total, se propone cerrar 40 escuelas abriéndose 17. Para ver el detalle por zona, remitirse al anexo 0 y 0. Cabe señalar que 30 de las 40 escuelas cerradas corresponden a las mismas que se cerraron cuando se corrió la región en forma completa.

**Tabla 69.** Tabla resumen, escenarios VIII región

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	676	636
	Escuelas Nuevas	0	17
	Escuelas Cerradas	0	40
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	261
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	275
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	8.48	6.825
	Máximo	118.17	29.96
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	69	72
	Máximo	1019	795
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	43
	Máximo	0	150
	Mínimo	0	2
Capacidad Ociosa Promedio		31%	18%
Nº alumnos por profesor		17.35	18.905
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 203,535,241
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 288,616,149
	Directores	\$ 4,159,950,160	\$ 3,992,630,750
	Profesores	\$ 20,287,235,200	\$ 17,330,666,332
	Costo de Transporte	\$ 12,225,414,510	\$ 9,601,689,198
	TOTAL	\$ 36,672,599,870	\$ 31,417,137,670
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 24,447,185,360	\$ 21,815,448,472

Fuente: Elaboración propia.

### **8.1.7 IX Región de La Araucanía (Zona 1)**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 10 a 7 km. Para esto se requieren construir 13 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es mayor al número de cursos que se debe agregar.

La reasignación de alumnos es un 29% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 70.** Tabla resumen, escenarios IX región (Zona 1)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	394	374
	Escuelas Nuevas	0	13
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		103
	Eliminados en Escuelas Existentes		131
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	10.78	7.34
	Máximo	128.16	29.96
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	41	42
	Máximo	677	423
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		37
	Máximo		96
	Mínimo		1
Capacidad Ociosa Promedio		32%	27%
Nº alumnos por profesor		15.84	16.48
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 134,957,945
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 113,898,327
	Directores	\$ 1,396,191,400	\$ 1,350,234,660
	Profesores	\$ 6,792,628,220	\$ 5,816,099,078
	Costo de Transporte	\$ 5,244,566,010	\$ 3,569,502,960
	TOTAL	\$ 13,433,385,630	\$ 10,984,692,970
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 8,188,819,620	\$ 7,415,190,010

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 71.** Escuelas a cerrar, IX región (Zona 1)

RBD	Matricula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
11527	306	Básica y Media	Subvencionado
19974	833	Media	Subvencionado
5290	107	Preescolar y Básica	Municipal
5291	84	Básica	Municipal
5326	122	Preescolar y Básica	Municipal
5327	165	Preescolar y Básica	Municipal
5338	40	Media	Municipal
5341	77	Básica	Municipal
5408	131	Preescolar y Básica	Municipal
5411	150	Preescolar y Básica	Municipal
5422	86	Básica	Municipal
5425	119	Preescolar y Básica	Municipal
5467	427	Media	Subvencionado
5472	121	Básica	Municipal
5647	54	Preescolar y Básica	Municipal
5877	176	Básica	Subvencionado
6504	140	Preescolar y Básica	Municipal
6711	113	Preescolar y Básica	Municipal
6714	99	Preescolar y Básica	Municipal
6718	156	Preescolar y Básica	Municipal

Fuente: Elaboración propia.

### **8.1.8 IX Región de La Araucanía (Zona 2)**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 7 a 6 km. Para esto se requieren construir 7 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es mayor al número de cursos que se debe agregar.

La reasignación de alumnos es un 21% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 72.** Tabla resumen, escenarios IX región (Zona 2)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	450	430
	Escuelas Nuevas	0	7
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		77
	Eliminados en Escuelas Existentes		150
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	7.48	6.58
	Máximo	63.41	29.92
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	47	49
	Máximo	502	577
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		64
	Máximo		156
	Mínimo		2
Capacidad Ociosa Promedio		33%	17%
Nº alumnos por profesor		15.89	18.07
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 69,479,909
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 85,147,293
	Directores	\$ 1,681,989,970	\$ 1,617,148,170
	Profesores	\$ 7,660,502,890	\$ 6,404,916,300
	Costo de Transporte	\$ 4,794,915,960	\$ 4,215,565,086
	TOTAL	\$ 14,137,408,820	\$ 12,392,256,758
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 9,342,492,860	\$ 8,176,691,672

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 73.** Escuelas a cerrar, IX región (Zona 2)

RBD	Matricula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
19904	252	Media	Subvencionado
5624	243	Preescolar y Básica	Municipal
5625	92	Preescolar y Básica	Municipal
5631	120	Preescolar y Básica	Municipal
5646	114	Preescolar y Básica	Municipal
5763	160	Preescolar y Básica	Subvencionado
5806	224	Preescolar, Básica y Media	Subvencionado
5899	118	Preescolar y Básica	Municipal
5923	167	Media	Subvencionado
6060	94	Básica	Municipal
6135	337	Preescolar y Básica	Subvencionado
6181	77	Básica	Municipal
6210	335	Básica y Media	Subvencionado
6251	76	Básica	Municipal
6351	101	Preescolar y Básica	Municipal
6385	209	Preescolar, Básica y Media	Subvencionado
6454	92	Preescolar y Básica	Municipal
6496	173	Básica y Media	Subvencionado
6686	106	Básica	Subvencionado
20074	306	Preescolar, Básica y Media	Subvencionado

Fuente: Elaboración propia.

### **8.1.9 IX Región de La Araucanía**

Mirando la región en forma completa (zonas 1 y 2 juntas), la distancia promedio disminuye de 9 a 6 km. En total se propone cerrar 40 escuelas abriéndose 20. Para ver el detalle por zona, remitirse al anexo 8.1.7 y 8.1.8. Cabe señalar que 34 de las 40 escuelas cerradas corresponden a las mismas que se cerraron cuando se corrió la región en forma completa.

**Tabla 74.** Tabla resumen, escenarios IX región

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	844	804
	Escuelas Nuevas	0	20
	Escuelas Cerradas	0	40
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	180
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	281
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.13	6.96
	Máximo	128.16	29.96
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	44	45
	Máximo	677	577
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	51
	Máximo	0	156
	Mínimo	0	1
Capacidad Ociosa Promedio		33%	22%
Nº alumnos por profesor		15.865	17.275
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 204,437,854
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 199,045,620
	Directores	\$ 3,078,181,370	\$ 2,967,382,830
	Profesores	\$ 14,453,131,110	\$ 12,221,015,378
	Costo de Transporte	\$ 10,039,481,970	\$ 7,785,068,046
	TOTAL	\$ 27,570,794,450	\$ 23,376,949,728
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 17,531,312,480	\$ 15,591,881,682

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.10 Región de Los Lagos (Zona 1)

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 9 a 8 km. Para esto se requieren construir 6 nuevas escuelas, mientras que se cierran 20. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es mayor al número de cursos que se debe agregar.

La reasignación de alumnos es un 23% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 75.** Tabla resumen, escenarios X región (Zona 1)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	202	182
	Escuelas Nuevas	0	6
	Escuelas Cerradas	0	20
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		35
	Eliminados en Escuelas Existentes		45
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.73	8.67
	Máximo	92.51	29.93
	Mínimo	0.07	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	45	48
	Máximo	475	749
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		67
	Máximo		108
	Mínimo		28
Capacidad Ociosa Promedio		29%	17%
Nº alumnos por profesor		16.5	19.11
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 51,335,651
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 38,703,315
	Directores	\$ 835,314,440	\$ 748,542,660
	Profesores	\$ 3,941,180,740	\$ 3,093,755,470
	Costo de Transporte	\$ 2,643,372,840	\$ 2,355,187,944
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 7,419,868,020</b>	<b>\$ 6,287,525,040</b>
	<b>TOTAL (Sin Transporte)</b>	<b>\$ 4,776,495,180</b>	<b>\$ 3,932,337,096</b>

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 76.** Escuelas a cerrar, X región (Zona 1)

RBD	Matricula 2007	Tipo de Enseñanza	Tipo de Dependencia
11548	279	Preescolar y Básica	Municipal
22293	30	Media	Municipal
22004	162	Media	Subvencionado
22201	54	Media	Subvencionado
7478	223	Preescolar y Básica	Municipal
7449	133	Preescolar y Básica	Municipal
7459	219	Preescolar, Básica y Media	Municipal
7460	171	Preescolar y Básica	Municipal
7470	281	Media	Subvencionado
7552	31	Básica	Municipal
7580	6	Básica	Municipal
7583	53	Básica	Municipal
7588	13	Básica	Municipal
7592	9	Básica	Municipal
7593	186	Preescolar y Básica	Municipal
22292	10	Básica	Subvencionado
7424	48	Básica	Municipal
7432	46	Básica	Municipal
7433	55	Básica	Municipal
7441	305	Básica y Media	Subvencionado

Fuente: Elaboración propia.

### **8.1.11 X Región de Los Lagos (Zona 2)**

En esta zona de la región se logra disminuir la distancia promedio que viajan los alumnos de 8 a 6 km. Para esto se requieren construir 9 nuevas escuelas, mientras que se cierran 19. El hecho de tener menos escuelas que en la situación original produce una disminución en los costos asociados al funcionamiento de ellas (profesores y directores).

La capacidad ociosa promedio disminuye al tener menos escuelas en total respecto a la situación original, además en las escuelas existentes la cantidad de cursos que se quitan es mayor al número de cursos que se debe agregar.

La reasignación de alumnos es un 20% (este porcentaje indica los alumnos que deben asistir a otro establecimiento en comparación al escenario actual).

Todo lo anterior, se constata en las siguientes tablas.

**Tabla 77.** Tabla resumen, escenarios X región (Zona 2)

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	209	190
	Escuelas Nuevas	0	9
	Escuelas Cerradas	0	19
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes		41
	Eliminados en Escuelas Existentes		43
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	8.89	6.84
	Máximo	106.01	29.96
	Mínimo	0.07	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	64	67
	Máximo	609	659
	Mínimo	0	4
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio		60
	Máximo		255
	Mínimo		15
Capacidad Ociosa Promedio		22%	17%
Nº alumnos por profesor		19.1	20.83
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas		\$ 91,461,349
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes		\$ 45,338,169
	Directores	\$ 1,206,328,700	\$ 1,121,686,440
	Profesores	\$ 5,145,339,590	\$ 4,178,585,438
	Costo de Transporte	\$ 3,560,813,430	\$ 2,739,656,004
	TOTAL	\$ 9,912,481,720	\$ 8,176,727,400
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 6,351,668,290	\$ 5,437,071,396

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 78.** Escuelas a cerrar, X región (Zona 2)

<b>RBD</b>	<b>Matricula 2007</b>	<b>Tipo de Enseñanza</b>	<b>Tipo de Dependencia</b>
7774	528	Preescolar y Básica	Municipal
7779	61	Básica	Municipal
7791	87	Básica	Municipal
7801	113	Preescolar y Básica	Municipal
7810	56	Básica	Municipal
7936	68	Básica	Municipal
7898	81	Básica	Municipal
7905	83	Básica	Municipal
7836	244	Preescolar, Básica y Media	Municipal
7654	156	Básica	Municipal
7659	638	Preescolar y Básica	Municipal
7682	107	Preescolar y Básica	Municipal
7725	88	Preescolar y Básica	Municipal
7726	49	Básica	Municipal
7741	51	Básica	Municipal
8311	98	Básica	Municipal
8321	80	Básica	Municipal
8325	492	Preescolar y Básica	Municipal
22420	208	Básica	Municipal

Fuente: Elaboración propia.

### 8.1.12 X Región de Los Lagos (Zonas 1 y 2)

Mirando la región en forma completa (zonas 1 y 2), la distancia promedio disminuye de 9 a 7 km. En total se propone cerrar 39 escuelas abriéndose 15. Cabe señalar que 36 de las 40 escuelas cerradas corresponden a las mismas que se cerraron cuando se corrió la región en forma completa.

**Tabla 79.** Tabla resumen, escenarios X región

		Escenario Actual	Escenario Optimizado
Escuelas	Existentes	411	372
	Escuelas Nuevas	0	15
	Escuelas Cerradas	0	39
Cursos	Agregados en Escuelas Existentes	0	76
	Eliminados en Escuelas Existentes	0	88
Distancia recorrida por alumno [km]	Promedio	9.31	7.755
	Máximo	106.01	29.96
	Mínimo	0.07	0
Nº alumnos por colegio (Existentes)	Promedio	54	57
	Máximo	609	749
	Mínimo	0	0
Nº alumnos por colegio (Nuevos)	Promedio	0	64
	Máximo	0	255
	Mínimo	0	15
Capacidad Ociosa Promedio		26%	17%
Nº alumnos por profesor		17.8	19.97
Costos	Inversión en Nuevas Escuelas	\$ -	\$ 142,797,000
	Inversión de Agregar Cursos en Escuelas Existentes	\$ -	\$ 84,041,484
	Directores	\$ 2,041,643,140	\$ 1,870,229,100
	Profesores	\$ 9,086,520,330	\$ 7,272,340,908
	Costo de Transporte	\$ 6,204,186,270	\$ 5,094,843,948
	TOTAL	\$ 17,332,349,740	\$ 14,464,252,440
	TOTAL (Sin Transporte)	\$ 11,128,163,470	\$ 9,369,408,492

Fuente. Elaboración propia