



**UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL**

**MODELO DE EVALUACIÓN EN RED DE PROYECTOS DE  
RECONSTRUCCIÓN DE ESTABLECIMIENTOS  
EDUCACIONALES**

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER EN GESTION DE  
OPERACIONES

MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO CIVIL  
INDUSTRIAL

NICOLAS RAFAEL MALUENDA NAZAR

PROFESOR GUIA:  
RAFAEL EPSTEIN NUMHAUSER

MIEMBROS DE LA COMISION:  
ANDRES WEINTRAUB POHORILLE  
VLADIMIR MARIANOV KLUGE  
MARIO WAISSBLUTH SUBELMAN

SANTIAGO DE CHILE  
MARZO, 2012

## RESUMEN EJECUTIVO

El 27 de febrero de 2010, sucedió en el sur de Chile uno de los terremotos más grandes de la historia, alcanzando una magnitud de 8,8 Mw. Producto de este terremoto 299 establecimientos educacionales resultaron con daños severos según los primeros catastros.

Por otra parte la cantidad de colegios entre los años 2005 y 2009 se mantuvo prácticamente constante, mientras que la matrícula disminuyó en un 7,7%, por lo que la capacidad ociosa en el sistema ha aumentado. A raíz de esto y considerando la gran cantidad de establecimientos que resultaron dañados con el terremoto, el Ministerio de Educación vio la oportunidad de reconfigurar la red, de manera de mejorar la calidad e invertir eficientemente el presupuesto público sin perjudicar la cobertura escolar, por lo que encargó un modelo para evaluar la reconstrucción de las escuelas con mayor nivel de daños, el que es presentado en esta tesis.

El sistema educativo se modela como una red de nodos de demanda y oferta en donde los alumnos se asignan resolviendo un problema de programación lineal mixto que busca maximizar la calidad educativa y minimizar los costos de construcción, operación y transporte del sistema, integrando en el análisis tanto a establecimientos rurales como urbanos.

En este contexto, se realiza una estimación real de parámetros necesarios para la evaluación de los proyectos, los que se pueden clasificar en dos grandes categorías: parámetros de la demanda (la población escolar) y parámetros de la oferta (el conjunto de establecimientos educacionales). Entre los de demanda se encuentran el tamaño y la ubicación de la población escolar (de manera desagregada), así como la disposición a viajar que tienen para acceder a un establecimiento educacional. Entre los parámetros de la oferta se encuentran la localización, las capacidades, la calidad educativa (valor agregado entregado a los estudiantes), clasificación según grado ofertado, los costos de reconstrucción, operación y transporte del sistema.

Particularmente se evaluaron 28 establecimientos candidatos a reconstrucción, que sirven de insumo para el diálogo entre el MINEDUC y las autoridades locales. Del total considerado, el modelo reconstruye 11 establecimientos, considerando la variable de calidad y 8 sin considerarla, utilizando la capacidad ociosa existente. De acuerdo al modelo diseñado, en ambos casos se obtienen mejores soluciones que al reconstruirlos todos. Esta metodología resulta útil para cualquier evaluación en red de localización y diseño de establecimientos, pudiendo orientar las decisiones de infraestructura hacia una red eficiente en relación a las variables analizadas.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar agradezco a mi madre, padre y hermana, gracias a ellos hoy estoy acá. A mis primos, abuelas y tíos, que siempre me han acompañado.

A Rafa, mi profesor guía, creador de este proyecto, que junto con Vladimir y Andrés lo hicieron posible, y de los cuales he aprendido mucho.

A Jaime Catalán, quien fue el capitán de esta travesía, y a Rene, mi compañero y amigo. Fue un honor trabajar con ustedes, y los estimo enormemente.

A Carlos Villa y Cristian González quienes aportaron sus genialidades. A María Paz y Claudia que siempre creyeron en nosotros, y gracias a las cuales esto no fue un mero ejercicio teórico.

A Maritza, quien siempre estuvo y ha estado ahí. A Angélica.

Agradezco que este proyecto me haya dado la oportunidad de conocerlos.

Finalmente a mi compañera, mi energía y parte importante de mi inspiración. Espero la vida nos junte nuevamente.

## TABLA DE CONTENIDO

1	Introducción.....	1
1.1	Objetivos del Proyecto.....	2
2	Marco Teórico.....	3
2.1	Sistema Educativo en Chile.....	4
2.2	Evaluación de Proyectos Educativos – Metodología MIDEPLAN.....	5
2.2.1	Diagnóstico de la Situación Actual.....	6
2.2.2	Identificación de Alternativas de Solución.....	12
2.2.3	Definición de las Alternativas de Proyecto.....	13
2.2.4	Evaluación y Selección de la Alternativa de Proyecto.....	14
2.3	Modelos Matemáticos Asociados a la Localización de Establecimientos.....	15
3	Modelamiento del Sistema Educativo.....	20
3.1	Descripción Matemática.....	22
3.1.1	Índices.....	22
3.1.2	Conjuntos.....	22
3.1.3	Parámetros.....	23
3.1.4	Variabes.....	24
3.1.5	Restricciones.....	24
3.1.6	Función Objetivo.....	26
4	Estimación de Parámetros.....	27
4.1	Análisis de la Demanda.....	27
4.1.1	Localización de la Población.....	27
4.1.2	Procesamiento de la Cartografía Urbana.....	29
4.1.3	Cantidad de Estudiantes.....	30
4.1.4	Cálculo de Distancias entre Establecimientos y Puntos de Demanda.....	34
4.1.5	Disposición a viajar.....	35

4.2	Análisis de la Oferta.....	37
4.2.1	Localización de los Establecimientos.....	37
4.2.2	Tipos de Establecimientos.....	39
4.2.3	Capacidad de los Establecimientos.....	42
4.2.4	Costos de Construcción/Reconstrucción/Ampliación.....	43
4.2.5	Costos de Operación.....	48
4.2.6	Costos de Transporte.....	51
4.2.7	Modelamiento del Desempeño Educativo o Calidad.....	51
5	Supuestos y Limitaciones.....	54
6	Implementación.....	56
7	Resultados.....	56
7.1	Beneficio de la Asignación Eficiente.....	61
7.2	Efecto del Terremoto.....	61
7.3	Beneficio de la Calidad.....	64
8	Conclusiones.....	65
9	Bibliografía.....	69
10	Anexos.....	74
10.1	Anexo A: Diseño de Interfaz de Ejecución.....	74
10.1.1	Caso de Uso: Seleccionar Comunas.....	75
10.1.2	Caso de Uso: Guardar Datos Establecimientos.....	77
10.1.3	Caso de Uso: Resolver Modelo.....	77
10.1.4	Caso de Uso: Generar Reporte Gráfico.....	79
10.1.5	Caso de Uso: Generar Arcos.....	80
10.2	Anexo B: Estimación del Grupo Socio Económico de los Estudiantes.....	81
10.3	Anexo C: Transformación de Coordenadas.....	86
10.4	Anexo D: Clasificación de Establecimientos por Grado Impartido.....	87

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cantidad de Establecimientos Afectados en Chile(1) .....	1
Tabla 2: Resumen Composición por Dependencia Sistema Educativo Chileno .....	4
Tabla 3: Escolaridad por Edad Simple .....	31
Tabla 4: Cantidad de Estudiantes por edad simple y grado (en miles).....	32
Tabla 5: Tipos de Enseñanza Relevantes .....	38
Tabla 6: Procedencia de Coordinadas de establecimientos relevantes a nivel Nacional .....	38
Tabla 7: Procedencia de Coordinadas de establecimientos relevantes en Regiones de interés .....	39
Tabla 8: Códigos de Enseñanza Relevantes por Nivel .....	39
Tabla 9: Reglas de Clasificación por tipo según Grados Impartidos .....	41
Tabla 10: Cantidad y Proporción de Estudiantes y Establecimientos clasificados en cada Tipo .....	41
Tabla 11: Estándares de construcción según tipo de intervención en establecimientos innovadores .....	47
Tabla 12: Costos de reconstrucción estimados por MINEDUC según nivel de daños. ....	47
Tabla 13: Subvención por alumno promedio según tipo de establecimiento y tipo de zona ..	50
Tabla 14: Promedio, D. Estándar y Cantidad de Establecimientos Prueba SIMCE.....	52
Tabla 15: Establecimientos Analizados.....	57
Tabla 16: Escenarios según variables consideradas .....	58
Tabla 17: Zonas geográficas Analizadas .....	59
Tabla 18: Indicadores de calidad, eficiencia y cobertura por escenario .....	59
Tabla 19: Resultados por Establecimiento .....	60
Tabla 20: Factores Bienes(50).....	81
Tabla 21: Factores Nivel de Educación del Jefe de Hogar(50) .....	82
Tabla 22: Categorización del nivel de Estudios Jefe de Hogar(50) .....	82
Tabla 23: Percentiles GSE Gran Santiago y Puntajes de Corte(50).....	83

Tabla 24: GSE de estudiantes Gran Santiago.....	84
Tabla 25: Puntajes de Corte GSE población relevante.....	84
Tabla 26: Comparación GSE SIMCE y Metodología AIM .....	85
Tabla 27: Aproximación de GSE por Manzana.....	86
Tabla 28: Agrupación de establecimientos por grados con matrícula (los 30 primeros) .....	87

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Categorías Censo.....	28
Ilustración 2: Comuna de Santiago.....	29
Ilustración 3: Clusters de Manzanas - Tomé .....	30
Ilustración 4: Proyecciones de cantidad de habitantes entre 6 y 17 años en Chile.....	33
Ilustración 5: Eliminación de arcos Inconexos.....	34
Ilustración 6: Conexión de puntos de Demanda y Oferta.....	35
Ilustración 7: Generación de nodos de intersecciones.....	35
Ilustración 8: Criterios de elección de los apoderados(36).....	36
Ilustración 9: Distancia promedio al establecimiento en la RM(37) .....	37
Ilustración 10: Datos DIPLAF y JEC vs. Matrícula Máxima.....	43
Ilustración 11: Costo Proyectos de Infraestructura vs. Superficie intervenida.....	44
Ilustración 12: Superficie intervenida vs. Número de alumnos.....	45
Ilustración 13: Costo de proyectos innovadores vs. Superficie intervenida.....	46
Ilustración 14: Superficie intervenida vs. Matrícula del establecimiento .....	46
Ilustración 15: Costo del proyecto vs. Alumnos beneficiados según tipo de intervención. ....	47
Ilustración 16: Costos de Operación vs. Subvención Escolar recibida .....	49
Ilustración 17: Subvención total vs. Número de alumnos por establecimiento.....	49
Ilustración 18: Subvención total vs. Número de alumnos (Matrícula menor a 50).....	50
Ilustración 19: Subvención por alumno promedio según tipo de establecimiento y tipo de zona .....	50

Ilustración 20: Distribución del Puntaje SIMCE de Cuarto Básico 2009 y Distribución Normal con mejor ajuste.....	53
Ilustración 21: Pantalla inicial Interfaz.....	56
Ilustración 22: Mapa Evaluación Establecimiento 26 .....	63
Ilustración 23: Mapa Evaluación Establecimiento 27 .....	63
Ilustración 24: Mapa Evaluación Establecimiento 20 .....	64
Ilustración 25: Diagrama de casos de uso de la Interfaz computacional.....	74
Ilustración 26: Diagrama de secuencia seleccionar comunas.....	76
Ilustración 27: Diagrama de secuencia guardar datos establecimientos.....	77
Ilustración 28: Diagrama de secuencia resolver modelo .....	78
Ilustración 29: Diagrama de secuencia generar reporte gráfico .....	79
Ilustración 30: Diagrama de secuencia generar arcos .....	80
Ilustración 31: Distribución Acumulada de los puntajes en la Gran Santiago(50) .....	83
Ilustración 32: Distribución acumulada de puntajes de la población relevante del Gran Santiago .....	84
Ilustración 33: Husos UTM WGS 84(51).....	87



# 1 INTRODUCCIÓN

El 27 de febrero de 2010, el segundo terremoto más fuerte de la historia de Chile y uno de los 6 de mayor magnitud a nivel global, afectó al país entre las regiones de Valparaíso y la Araucanía. Este terremoto, de magnitud 8,8 Mw, produjo además un tsunami que afectó a gran parte de la costa, incluyendo el territorio insular. Lo anterior significó que la zona con mayor densidad poblacional, que incluye más del 80% de la población, fuera directamente afectada. Viviendas, infraestructura vial, hospitales, colegios, servicios básicos, industrias, puertos, entre otros, se vieron seriamente dañados, estimándose inicialmente los daños en US\$ 30.000 millones a nivel nacional.

En el ámbito educativo, los catastros preliminares indicaban que aproximadamente la mitad de los establecimientos educacionales del país se encontraban dañados.

TABLA 1: CANTIDAD DE ESTABLECIMIENTOS AFECTADOS EN CHILE(1)

Nivel de Daños	Cantidad de Establecimientos
Daños Leves	2.657
Daños Moderados	2.054
Daños Severos	209
Reposición	90

Sin duda el proceso de reconstrucción representa una oportunidad para influir en la estructura educacional del país, repensando los espacios educativos que deberán ser objeto de reposición y/o reparación, teniendo presente que con estas decisiones se podrá contribuir a favorecer los aprendizajes y cooperar en la provisión de servicios educativos de calidad.

Dentro de los múltiples aspectos que se deben considerar para responder la pregunta sobre qué y dónde reconstruir, se cuenta la evaluación económica en la asignación de los recursos de la etapa de normalización del sistema educacional, en relación a variables relevantes para el buen desempeño escolar y financiamiento eficiente del sistema.

Actualmente existe un margen de acción considerable en términos de mejora global del sistema, sobre todo para el caso de los sostenedores públicos, quienes en algunos casos poseen deudas derivadas de la administración educacional. Además de disminuir la capacidad ociosa, se puede lograr un aumento considerable de eficiencia, al menos en términos de costos, modificando los tamaños de los establecimientos existentes para aprovechar de mejor forma las economías de escala(2).

En el sistema educacional chileno la decisión de apertura de un nuevo establecimiento, además de su localización, diseño y administración son decisiones tomadas descentralizadamente por los sostenedores. Ello ha determinado una configuración que no ha sido necesariamente la óptima, pues los factores considerados muchas veces son netamente políticos o privados.

Así también, la población en edad escolar del país (para efectos de este estudio entre 6 y 17 años) ha venido disminuyendo sostenidamente desde el año 2006(3). Considerando que

esa misma población ya tiene niveles de escolaridad superiores al 90% (sobre el 95% entre 7 y 13 años)<sup>1</sup> para el 2009, se espera que la matrícula escolar decaiga en los próximos años.

Ambos factores han determinado que el sistema educacional chileno, en general, tenga sobreoferta. La capacidad instalada a nivel nacional en el año 2009 superó en un 15,24% a la matrícula total, incluso llegando a un 21,34% en los establecimientos Municipales<sup>2</sup>.

El Ministerio de Educación (MINEDUC), como organismo responsable de la asignación de los recursos para la reconstrucción de los establecimientos educacionales, tiene la oportunidad de influir en una mejor configuración de la red, priorizando el diseño de un sistema más eficiente.

Para abordar esta asignación de recursos, el MINEDUC aplicó una estrategia de planes sucesivos según el tipo de sostenedor, nivel de daños y montos requeridos(4). En las etapas tempranas, se propuso una serie de planes tendientes a habilitar una amplia capacidad en corto tiempo, entre los que destacan Planes Sismo 1 y Sismo 2 (594 establecimientos). Posteriormente, en una segunda etapa se lanzaron los Plan de Reparaciones Menores 1 (proyectos hasta \$80 millones, 601 establecimientos beneficiados), Plan de Reparaciones Menores 2 (proyectos hasta \$60 millones, 333 establecimientos beneficiados) y Plan de Reparaciones de 12 Liceos Emblemáticos. Finalmente, para los casos más complejos se lanzó el Plan de Reparaciones Mayores (daños superiores a \$170 millones) y Plan de Reposiciones Totales (establecimientos con daños mayores al 50%).

Estos planes fueron lanzados secuencialmente, realizando una selección de los candidatos en base a criterios como matrícula y capacidad ociosa, entre otros. Con ello se buscó dejar para planes siguientes los que pueden representar algún tipo de oportunidad de mejora de la red.

Para la evaluación de los proyectos asociados a dichos establecimientos candidatos a ser modificados a partir del proceso de reconstrucción (en general, establecimientos con mayor nivel de daños) el MINEDUC ha solicitado desarrollar una herramienta que motive y oriente las conversaciones que surgen entre el gobierno central, sostenedores y actores locales. Para ello se propuso desarrollar un modelo de optimización que permita dar luces de las posibles mejoras que se puedan aplicar al sistema, evaluando las distintas opciones de reconstrucción. En la presente tesis se desarrolla la construcción de dicho modelo y la estimación de los parámetros asociados.

## **1.1 Objetivos del Proyecto**

El objetivo de este proyecto consiste en *desarrollar una herramienta que oriente las decisiones estratégicas sobre qué establecimientos ampliar o reconstruir, cuáles cerrar o no reconstruir y qué demanda escolar requeriría la construcción de nuevos*

---

<sup>1</sup> Estimado en base a Matrícula 2009 MINEDUC (12) y Proyecciones de Población INE (3).

<sup>2</sup> Estimado en base a Matrícula 2009 MINEDUC (12) y Estimaciones de Capacidad (ver Capacidad de los Establecimientos, página 48).

*establecimientos, en un contexto de proceso de reconstrucción, permitiendo seleccionar aquellas opciones que maximizan una función objetivo.* Ésta función, definida por el Ministerio de Educación podría incorporar aspectos como: puntajes SIMCE (Sistema de Medición de Calidad de la Educación, considerando Grupo Socio Económico), puntaje SNED (Sistema Nacional de Evaluación de Desempeño), costos de construcción o reparación, costos de operación, costos/tiempos de transporte, y otros factores que el MINEDUC considere relevante y se puedan reflejar en un modelo matemático.

Para ello se solicita construir un software que permita aplicar esta herramienta de manera simple en las conversaciones con los agentes. Es primordial para ello que sea ajustable a la evaluación de los intereses particulares de dicha ocasión y que los tiempos de resolución sean razonablemente breves (en general no superiores a 20 minutos), para que en caso de ser necesario, sea posible evaluar distintos escenarios.

En este sentido, los objetivos específicos de este proyecto son:

- Modelar matemáticamente el sistema educacional chileno.
- Plantear un modelo matemático que permita evaluar proyectos de infraestructura educacional.
- Estimar los parámetros base, considerando datos reales, necesarios para ejecutar el modelo.
- Desarrollar una interfaz (software) que permita seleccionar los establecimientos analizados, modificar ciertos parámetros y la función objetivo.

Es muy importante tener en cuenta que este modelo no pretende ser un tomador de decisiones, sino una orientación inicial, un punto de partida para el diálogo entre los distintos agentes locales, sostenedores y el MINEDUC, ya que es claro que la decisión de reconstruir/modificar un establecimiento resulta muy compleja, teniendo fuertes impactos en la comunidad afectada, no solo en el ámbito educacional.

## **2 MARCO TEÓRICO**

En el ámbito de proyectos de infraestructura educacional ha habido desarrollos metodológicos que describen las componentes que es necesario analizar para su evaluación. Dada la complejidad de este análisis, dichas metodologías tienden a describir un procedimiento aplicable a casos particulares. La sola definición de los beneficios que conlleva entregar educación de calidad a una cierta población es difícilmente objetivable, lo que imposibilita la estandarización de una evaluación única y específica.

Con el objeto de contextualizar la aplicación del modelo, a continuación se presenta una breve descripción del sistema educacional chileno, además de una reseña de la metodología usada en la actualidad para la evaluación de proyectos educacionales por el Ministerio de Planificación de Chile (MIDEPLAN).

También se hace una revisión de modelos matemáticos de localización de infraestructura relevantes para este estudio, además de trabajos relacionados directamente con la localización de establecimientos educacionales.

## 2.1 Sistema Educativo en Chile

En Chile, la educación escolar está dividida en educación pre-básica o parvularia (Primer y Segundo nivel de transición), educación básica (de Primero a Octavo Básico) y educación media (de Primero a Cuarto medio). Actualmente la educación básica y media son obligatorias, y la universalidad de la educación pre-básica se encuentra en período de implementación(5).

En el Directorio Oficial de Establecimientos en Chile de 2010(6) hay 12.164 establecimientos a nivel nacional, los cuales se pueden clasificar en 3 tipos de dependencia, según su administración (sostenedor<sup>3</sup>) y financiamiento (ver Tabla 2).

**TABLA 2: RESUMEN COMPOSICIÓN POR DEPENDENCIA SISTEMA EDUCACIONAL CHILENO**

Tipo	Financiamiento	Administración	Proporción del total de establecimientos	Proporción del total de la matrícula
Municipales	Público	Pública (Municipal)	47,2%	40,7%
Particulares Subvencionados	Mixto (Público y Privado)	Privada	47,3%	52,2%
Particulares Pagados	Privado	Privada	5,5%	7,1%

Los establecimientos Particulares Pagados tienen libertad de selección de alumnos, de cobro de matrícula y escolaridad.

Los establecimientos Municipales y Particulares Subvencionados reciben el pago por parte del MINEDUC mediante la subvención escolar, la cual es calculada para cada establecimiento según la asistencia de los alumnos. El monto de la subvención por alumno depende de la condición de ruralidad del establecimiento, del nivel educacional (pre-básica/básica/media) y, en establecimientos específicos, del grupo socio económico de los alumnos (Subvención Escolar Preferencial).

Adicionalmente, los establecimientos Particulares Subvencionados pueden tener Financiamiento Compartido, lo que les permite cobrar mensualidad y matrícula a los apoderados desde segundo nivel de transición hasta cuarto medio, con montos acotados por ley (7) (artículos 23 y 24). En dichos casos, la subvención que entrega el estado disminuye según el monto cobrado. Los establecimientos Municipales pueden realizar cobros a los apoderados en educación media, solo si existe una preferencia mayoritaria de los apoderados por esta opción, sin embargo en general esto no ocurre.

<sup>3</sup> Persona jurídica, pública o privada, encargada de la administración de un establecimiento educacional

Asimismo, por ley, los establecimientos educacionales que reciben subvención estatal no pueden seleccionar a los alumnos por criterios académicos (entre otros) para grados comprendidos entre el nivel de transición 1 y sexto básico (artículo 12 de LGE) (5). Sin embargo, en la práctica esto no necesariamente se cumple.

El sistema con subsidio a la demanda determina que los estudiantes puedan elegir libremente entre dichos establecimientos, sujeto a la disponibilidad de pago que tengan sus apoderados y a las restricciones de selección que imponga el establecimiento.

En términos de infraestructura, en todos los casos es financiada por el administrador (o sostenedor), existiendo fondos de apoyo para establecimientos municipales, como el Fondo de Infraestructura Escolar (FIE).

Este diseño de sistema escolar, descentralizado y heterogéneo, ha determinado una cobertura prácticamente universal en educación básica y media. Sin embargo, teniendo en cuenta que su expansión no consideró la composición de una red de establecimientos con un crecimiento planificado, presumiblemente existen posibilidades de mejoras en base a un análisis en red de los proyectos de reconstrucción.

## **2.2 Evaluación de Proyectos Educativos – Metodología MIDEPLAN**

Actualmente en Chile la generación de proyectos educativos, así como la administración de ellos, se maneja a nivel descentralizado. Sin embargo, la evaluación de proyectos de infraestructura con dineros fiscales recae sobre MIDEPLAN.

En este contexto el Ministerio de Planificación ha desarrollado una “Metodología para Formulación y Evaluación de Proyectos de Educación” (8).

En dicha metodología se indica primeramente que existe un trasfondo legal sobre la evaluación de este tipo de proyectos, y es que en la Constitución Política de Chile se señala que la educación es un derecho de todos los habitantes del país, por lo que es obligatorio asegurar la disponibilidad de servicios educativos a nivel nacional. Por lo tanto la eficiencia del sistema educativo no solo está definida por el análisis económico del proyecto, sino que también es necesario aplicar un análisis de rentabilidad social a cada proyecto.

En este contexto la educación corresponde a un bien de consumo, pero también lo es de inversión. Esto ya que provee un stock futuro de capital humano para el país, agregando conocimientos y destrezas que hacen más productivo al individuo, con la posibilidad de obtener aún más educación. Por esto, gran parte de los beneficios que conlleva la ejecución de proyectos educativos tienen repercusiones en el largo plazo. Además, se generan externalidades positivas en la comunidad, por lo que el impacto no solo se debe medir sobre los participantes directos del sistema.

Esto determina que para evaluar un proyecto de este tipo no se puede aplicar la misma metodología que a cualquier iniciativa de inversión, pues la cuantificación monetaria de los beneficios atribuibles a su ejecución es compleja. Dentro de ellos, además del conocimiento adquirido por el estudiante, hay impacto en valores, así como efectos de generación de redes sociales y comunidad en torno al establecimiento, entre otros.

La metodología propuesta por MIDEPLAN trata sobre los aspectos que se deben tener en consideración cuando se evalúa un proyecto. Resulta fundamental que en el desarrollo de dicha metodología participen de forma activa los actores locales afectados: administradores del sistema, expertos y comunidad.

La metodología consta de cuatro etapas principales: **diagnóstico de la situación actual, identificación de alternativas de solución, definición de las alternativas de proyecto y evaluación y selección de la alternativa de proyecto.**

### **2.2.1 Diagnóstico de la Situación Actual**

Es necesario realizar un diagnóstico de la situación actual, que en términos generales comprende las siguientes etapas:

- Identificación del problema.
- Definición del área de estudio.
- Determinación del área de influencia.
- Determinación de la demanda actual.
- Proyección de la demanda.
- Determinación de la oferta actual.
- Determinación de indicadores educativos.
- Cálculo y proyección del déficit.

#### **2.2.1.1 Identificación del Problema**

La primera etapa consiste en la definición del problema a abordar. Para identificar dicho problema se pueden utilizar diferentes fuentes:

- Los **objetivos y políticas del sector educación** pueden entregar indicios sobre las prioridades tanto locales como nacionales de ámbitos en los cuales se debe poner atención.
- La **información emanada de los establecimientos**, tanto de la dirección como de la comunidad.
- **Mapas de localización** del sistema educativo, que permiten visualizar problemas de cobertura y/o localización, en los cuales es posible incluir información censal con uso de sistemas de información geográfica (SIG).
- **Encuestas** aplicadas a la comunidad, dentro de las cuales se encuentran la Ficha de protección social, antes CAS, y la CASEN (Encuesta de Caracterización Socioeconómica Nacional).
- Realizar una revisión de los **sistemas de medición de la calidad**, tales como el SIMCE, que permiten identificar carencias del sistema educacional. En particular el SIMCE utiliza estimadores como desarrollo personal (percepción del educando),

aceptación de la labor educacional (percepción del educando y apoderados), logro de objetivos académicos (prueba de conocimientos) y eficiencia escolar (tasas de promoción, repitencia, retiro y promedio de años de demora en cursar ciclos educativos).

Con estas herramientas es posible identificar la existencia de un problema, permitiendo describirlo en base a la **causa principal** que lo determina, la **localización** geográfica de este, su **antigüedad** y contextualizarlo dentro de un **entorno** (características de la población afectada).

Es importante tener en cuenta que un proyecto de solución debe incidir en las causas y no solo en los efectos o consecuencias del problema detectado. Además se debe analizar las repercusiones futuras que tendrá el no solucionar este problema, que puede determinar servicios educativos que no serán entregados (o en condiciones no óptimas) y una población afectada mayor que la actual.

### ***2.2.1.2 Definición del área de estudio***

Se entiende por área de estudio la zona donde el problema afecta directa e indirectamente, la cual a su vez determina los límites del área analizada para el proyecto.

Para la caracterización de dicha área es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos:

- **Red de establecimientos existentes.** En este punto es necesario recopilar información sobre el establecimiento foco del problema (de existir) tales como localización del establecimiento, matrícula, localización de estudiantes, etc. Además se debe analizar los establecimientos aledaños, independiente del tipo de administración y financiamiento que posean. Para esta definición se puede utilizar información del propio establecimiento, estadísticas comunales, entrevistas con la comunidad, información regional y estadísticas del Ministerio de Educación.
- **Límites relevantes.** Es necesario incluir límites geográficos (por ejemplo accidentes como lagos, ríos, etc.), límites administrativos, otros límites (carretera, vía férrea, etc.).
- **Condiciones de accesibilidad.** Es necesario obtener información sobre la existencia y el estado de las vías de acceso, pues aún cuando las distancias físicas no sean muy grandes, pueden no existir vías de comunicación. Se deben sondear los medios de transporte público (capacidad, frecuencia, tarifas, etc.) y otros medios de transporte utilizados por la población (por ejemplo a pie, a caballo, en bicicleta). Tener en cuenta que las condiciones de accesibilidad dependen de las condiciones climáticas, por lo que estas deben ser analizadas para que la accesibilidad sea adecuada durante todo el año escolar. Con esta información se pueden definir los

límites del área de estudio hasta donde sea razonable extender las posibilidades de acceso.

- **Características generales del área de estudio.** Entre ellas están el tipo de zona (urbana, rural o mixta) con su respectiva densidad poblacional, condiciones socio-económicas de la población (niveles de ingreso, condiciones de vivienda, niveles de escolaridad por grupos etarios, composición de las familias, etc.), localización de la población según estratos socio-económicos, infraestructura de la zona (sistemas de agua potable o alcantarillado, iluminación, etc.) y aspectos culturales (por ejemplo si la población pertenece a etnias particulares).
- **Características administrativas del sistema educativo.** En ella se detalla el tipo de administración de la red de establecimientos del área y su tipo de financiamiento.

Con esta información es posible construir un **mapa del área de estudio**, donde se resume la ubicación de los establecimientos, de los límites, de la población y las vías de acceso.

### ***2.2.1.3 Determinación del área de influencia***

Corresponde a la zona donde el problema afecta de manera directa, o sea el ámbito geográfico que incluye la red de establecimientos a la cual los afectados por el problema tienen o podrían tener acceso. Para determinar esta área es recomendable considerar:

- **Ubicación de la población potencial.** Es importante tener información sobre la ubicación de la población que es afectada tanto directamente como indirectamente.
- **Condiciones de accesibilidad.** Se debiera analizar una zona con condiciones de acceso favorables en toda su extensión. En caso de no existir se puede evaluar la posibilidad de habilitar vías de comunicación, o en su defecto analizarlas como áreas de influencia independientes.
- **Condiciones socio-económicas.** El área de influencia debe considerar población con características socio-económicas homogéneas, de manera de entregar una solución acorde.
- **Nivel de enseñanza.** Los niveles y cursos a los que se pretende atender, los que guardan directa relación con la edad de la población a atender. Si un establecimiento beneficia al nivel primario o básico, las edades de la población atendida fluctúan aproximadamente entre los 5 y 15 años. En estos casos el área se fija normalmente tomando como referencia un **tiempo de viaje entre 15 y 20 minutos** (siempre que se presenten condiciones de acceso favorables). Mientras que para la enseñanza media, cuya edad fluctúa entre los 13 y 18 años aproximadamente, el área de influencia podría ser una localidad, comuna e incluso la región.



- **Tipo de enseñanza.** Es importante tener en cuenta si se entrega algún tipo de educación no tradicional (como por ejemplo educación de adultos, técnico profesional o especial). Dado que se trata de casos especiales el área de influencia suele fijarse en una o más comunas y en algunos casos en una provincia o región.
- **Características administrativas.** Es importante considerar el alcance de las áreas administrativas, por ejemplo cuando exista educación municipal, los límites comunales definen a su vez límites de autoridad administrativa.

Con esto se puede realizar un **mapa del área de influencia**, donde es necesario definir a priori características del servicio educacional que entregará el proyecto. Luego se debe determinar el área de influencia, siempre teniendo en cuenta las condiciones de accesibilidad.

#### ***2.2.1.4 Determinación de la demanda actual***

Se entiende por demanda al conjunto de la población que está solicitando el servicio educacional.

Se distinguen los siguientes grupos: **población de referencia**, que corresponde al total de la población localizada en el área de influencia; la **población potencial**, que corresponde al subconjunto de la población de referencia que está siendo afectada por el problema; y la **población objetivo**, que corresponde al grupo al que finalmente se le podría resolver el problema con el proyecto. Dicha población objetivo constituirá la base del dimensionamiento del proyecto. Con el objetivo de acotar la población potencial es necesario considerar la localización de la población, nivel socio-económico, medios de transporte, el grupo etario que puede acceder a los servicios educativos del proyecto, y a su vez el porcentaje de estos que tienen el problema y pueden ser beneficiados con el proyecto. De ser necesario se debe diferenciar por sexo.

Se debe analizar la posibilidad de acceso a un establecimiento alternativo. Para ello es importante obtener información sobre la matrícula actual e histórica (analizando tendencias) de los establecimientos de la red, además de su ubicación, tamaño y población escolar.

#### ***2.2.1.5 Proyección de la demanda***

La metodología considera una proyección de demanda en un horizonte de 10 años, para lo cual se calcula una tasa de crecimiento anual de la población del área de influencia. Dicha tasa suele estar disponible en las entidades que manejan las estadísticas poblacionales del país. De no existir para el área específica, se deberá considerar una zona mayor que incluya esta área. Es posible, en último caso, realizar estimaciones con datos censales, calculando una tasa de crecimiento<sup>4</sup> presentada a continuación

---

<sup>4</sup> Fuente: Metodología para la preparación y evaluación de proyectos de educación, MIDEPLAN.

$$TC = 100 * \left( \sqrt[n]{\frac{\text{poblacion final}}{\text{poblacion inicial}}} - 1 \right)$$

Donde: n = número de años entre los dos datos de población utilizados

TC = tasa de crecimiento

La población proyectada se calcula como se muestra a continuación:

$$P_x = P_0 * \left( 1 + \frac{TC}{100} \right)^X$$

Donde: P<sub>x</sub> = Población proyectada para el año x

P<sub>0</sub> = Población más reciente

TC = Tasa anual de crecimiento (en %)

X = Número de años que hay entre el correspondiente a P<sub>0</sub> y el año para el cual se hará la proyección.

Es importante en dichas proyecciones tener en cuentas aspectos como: expansión urbana, migraciones, planos reguladores, etc.

### **2.2.1.6 Determinación de la oferta actual**

La oferta del sistema educacional corresponde a la capacidad total instalada. Esta se calcula en base a la capacidad normativa de aulas, servicios higiénicos y patios.

Para la determinación de la oferta se debe distinguir el caso en que existe un establecimiento foco del problema o no.

Si no existe, es necesario recopilar información sobre:

- **Características de los establecimientos del área.** Detalles de la planta física, tipo de educación, tipo de administración, ubicación geográfica, año de construcción y material empleado. Es importante indicar la superficie, características, el estado actual y destino de uso de cada sector, y su vida útil. Además si existen posibilidades de ampliación. Con esta capacidad calculada de infraestructura, en contraste con la matrícula, es posible calcular la capacidad ociosa del establecimiento.
- **Características de la zona.** Tales como disponibilidad de servicios (luz, agua, etc.), seguridad pública, condiciones de acceso y sanidad ambiental (si existen sistemas de recolección de desechos, por ejemplo).

- **Características del servicio educativo.** Si se están ejecutando programas no tradicionales de enseñanza.

En el caso de existir un establecimiento foco del problema, es necesario analizar los puntos antes citados, pero de manera general, enfocándose principalmente en los aspectos concernientes al establecimiento en particular, donde se debe considerar:

- **Matrícula del establecimiento.** Detallándola por sexo, jornada, nivel socio-económico, nivel de educación de los padres.
- **Procedencia de la matrícula.** Incluyendo los tiempos de viaje.
- **Localización geográfica del establecimiento.** Además, indicar ubicación de la población (no solo de los estudiantes matriculados) y las rutas de acceso y medios de transporte.
- **Características de la planta física.** Año y material de construcción, destino original del edificio (si fue construido o habilitado), características funcionales, capacidad normativa instalada (aulas, servicios higiénicos, patios), estado del edificio (Bueno: solo requiere mantención; Regular: requiere obras menores; Malo: deterioro irreparable), equipamiento, servicios básicos, superficie total del terreno, situación legal del terreno (propiedad pública o privada, arrendada, cedido en comodato, contratos, etc.).
- **Características administrativas.** Responsable de la administración, incluyendo información sobre las características de la gestión realizada (de preferencia calificarlas en rangos comparables: débil, mediana o fuerte). Además detalles sobre el financiamiento (si es abierto o pre-asignado) y detalle sobre el personal.
- **Tipo de educación.**
- **Características del entorno.** Características que condicionen el funcionamiento del establecimiento (por ejemplo, si está ubicado en una zona industrial con alta contaminación acústica).

#### ***2.2.1.7 Determinación de indicadores educativos***

Los indicadores educativos permiten detectar y dimensionar problemas de cobertura, eficiencia y efectividad del sistema educacional. Entre los más importantes están los que permiten medir el **rendimiento escolar**, **cobertura del sistema** y analizar la **localización de la infraestructura**.

Según esta metodología para la medición del rendimiento escolar, el único indicador existente homogéneo y comparable es la prueba SIMCE. Otros indicadores útiles, pero no homogéneos, son la tasa de repitencia y tasa de retención.

Dado que uno de los objetivos preponderantes en educación es disminuir el déficit de atención educacional, es importante mejorar la cobertura en los niveles de enseñanza

parvularia, básica y media. Para medir esta cobertura se sugiere utilizar: la matrícula atendida (número de niños y niñas matriculados/as), capacidad de la infraestructura (ocupación) y los parámetros que establece la normativa (aulas, servicios higiénicos y patio).

Otro objetivo importante es la orientación de la oferta en concordancia con la localización de la población. Para ello se sugiere utilizar como indicadores: el origen de los alumnos, tiempos de desplazamiento, costos de desplazamiento, entre otros.

### **2.2.1.8 Cálculo y proyección del déficit**

El déficit es una comparación entre la demanda (actual y proyectada) y la oferta del sistema educacional. Se entiende por déficit cuando lo que ofrece el sistema no alcanza a cubrir lo que se demanda; en caso contrario, se habla de superávit.

Existen dos tipos de déficit: en infraestructura y en calidad.

En el caso del déficit relacionado con la infraestructura, este puede provenir de falta de cobertura (la demanda no puede ser atendida) o por mal estado de la infraestructura/equipamiento (la demanda puede ser atendida, pero en forma deficiente de acuerdo a las normas mínimas exigidas por el sector).

En el caso del déficit relacionado con la calidad del servicio educativo, puede provenir de deficiencias en la administración de los recursos humanos y/o financieros, falta de capacitación del personal o carencia de programas especiales que motiven la participación de la comunidad.

### **2.2.2 Identificación de Alternativas de Solución**

Con el diagnóstico de la etapa anterior se logra identificar, cuantificar y dimensionar el problema. Ahora es necesario ver alternativas de solución. Para identificarlas se propone:

- **Optimizar la situación actual.** Consiste en estudiar medidas que permitan, con recursos mínimos (inversión marginal), que el servicio educacional existente funcione de la mejor forma posible. Con esto se logra no sobreestimar los beneficios del proyecto. Por ejemplo, en caso de déficit de cobertura se debe analizar la posibilidad de implementar un servicio de locomoción. Entre los recursos que es posible optimizar se encuentran: uso de la infraestructura, recursos humanos (por ejemplo, cambiar personal entre establecimientos), uso del equipamiento (por ejemplo, buscar cooperación con el sector privado y/o apoderados).
- **Identificar las posibles alternativas.** Cuando la optimización anterior no permite solucionar el problema es necesario buscar alternativas. Para ello se propone identificar las *causas fundamentales* mediante la construcción de un árbol de problemas, y con ellas hacer un árbol de objetivos que determinan los *medios*

*fundamentales*, que corresponden a los objetivos que deben buscar las soluciones propuestas para atacar el problema. Para cada una de las propuestas, que surjan de este análisis, se debe considerar su nivel de incidencia en la solución del problema, su factibilidad (física, técnica, presupuestaria, institucional, cultural) y el grado de interdependencia con otras acciones propuestas.

- **Describir las alternativas.** Para cada alternativa factible se debe describir, en términos generales, los siguientes aspectos: cómo y en qué medida resuelve el problema, número y características de los beneficiarios, costos y beneficios, método de ejecución, modo de operación, aspectos legales relevantes, aspectos institucionales relevantes, cronograma de actividades, aceptación de la comunidad, financiamiento, restricciones.

### **2.2.3 Definición de las Alternativas de Proyecto**

En general un proyecto se ejecuta cuando los beneficios que genera son mayores que los costos.

#### **2.2.3.1 Beneficios**

Para proyectos educacionales la cuantificación de los beneficios resulta complicada. La educación no es un fin en sí misma, sino un medio para el logro de otros objetivos, por tanto no se puede simplemente medir el resultado en el corto plazo ya que como dijimos anteriormente, la educación como inversión tiene beneficios sociales como: aumentar la productividad de los individuos (al agregar destrezas y conocimientos), la posibilidad de obtener aún más educación (estudios superiores) y generalmente a mayor educación es más fácil conseguir trabajo, por lo que se aumenta la producción para el país.

No es posible medir los beneficios de la educación a través de la disposición a pagar, pues la demanda privada no ve reflejados totalmente los beneficios, no los valora o no tiene suficiente poder adquisitivo para pagarlos.

Una posibilidad es estudiar cómo cambian las condiciones de vida de las personas que recibieron educación (por ejemplo, comparando a grupos similares que la recibieron con otros que no). Estos estudios no son fáciles, y aún más complicado es medir el impacto de un proyecto en estado de pre-inversión.

Es posible medir los beneficios asociados a mayor productividad generada por educación, haciendo el supuesto de que lo que se paga por cada unidad de trabajo representa la productividad marginal de esa unidad, por tanto es posible calcular estos beneficios considerando la diferencia de ingresos por niveles de educación. Sin embargo, esta cuantificación es solo una parte del total de beneficios.

Si ya la medición de los beneficios es de tal complejidad, resulta prácticamente imposible cuantificarlos en términos monetarios. Por tanto, en este tipo de análisis se asume que todas las alternativas de proyecto generan similares beneficios, o que la sociedad le

asigna un beneficio mayor a la educación que el costo de proveerla, por lo que la selección se resume en escoger la de menor costo.

Otra alternativa al supuesto anterior es definir variables que se espera tenga relación directa con los beneficios reales (por ejemplo, número de directivos capacitados), con lo que se busca hacer comparables los beneficios de distintos proyectos. Estas variables se denominan proxys.

### **2.2.3.2 Costos**

Los costos de un proyecto se pueden dividir en las siguientes categorías:

- **Costos de inversión.** Son los costos que se dan desde el inicio de la ejecución del proyecto hasta que se encuentra listo para entrar en operación. Entre estos se consideran costos de: terrenos, construcción (por ejemplo, costo por m<sup>2</sup>), equipamiento, difusión (por ejemplo, en una campaña de alfabetización). Siempre se debe tener en cuenta el costo de oportunidad de los recursos utilizados.
- **Costos de operación.** Son todos aquellos gastos en que incurre la institución para que el servicio se entregue de forma regular. Para el caso del proyecto se consideran solamente los costos adicionales que este genera, y usualmente se analiza el período de un año. Entre ellos se cuentan: remuneraciones (obra calificada, semi calificada, no calificada), insumos, servicios básicos, mantención (en general 2% a 3% del valor de los bienes), arriendos.
- **Costos de transporte.** Considerar el tiempo y costo de traslado, para lo cual se pueden definir uno o más puntos representativos de localización de la población, y el costo de desplazamiento utilizando el medio de transporte mayoritariamente empleado por los educandos y docentes. Además, se debe considerar si la alternativa contempla brindar servicio de transporte.

Se deben realizar dos evaluaciones económicas: una para la evaluación de la alternativa, que considera costos de oportunidad, costos de las donaciones, pero no impuestos, y una para elaborar el presupuesto del proyecto, que si considera impuestos pero no costos de oportunidad. En ambos casos se deben llevar los precios a una misma fecha (valor presente), corrigiendo además por precios sociales.

### **2.2.4 Evaluación y Selección de la Alternativa de Proyecto**

Básicamente los métodos de evaluación de proyectos se dividen en dos categorías:

- **Métodos de costos-beneficio.** Es aplicable cuando tanto los costos como los beneficios son expresables en términos monetarios. Se pueden calcular indicadores como la *razón beneficio costo*, el *período de recuperación del capital*, el *valor actual neto* (VAN) y la *tasa interna de retorno* (TIR).

- **Métodos de costo-eficiencia.** Estos métodos se basan en determinar qué alternativa de proyecto logra los objetivos deseados a mínimo costo. En caso de tener proyectos con idénticos beneficios es posible aplicar el criterio de *costo mínimo* (valor actual de costos, VAC). De no ser así, se puede utilizar el *costo por unidad de beneficio*, que se calcula dividiendo el VAC por el proxy de los beneficios. Otra opción es calcular el *costo anual equivalente*, que consiste en expresar los costos del proyecto en términos de una cuota anual.

Dado que muchos de los costos o beneficios corresponden a estimaciones, se recomienda hacer análisis de sensibilidad para ver el comportamiento de los indicadores frente al movimiento de las variables con incertidumbre.

Con los pasos anteriores se propone evaluar las distintas alternativas de solución a una problemática particular.

Ahora, si bien la metodología propuesta por MIDEPLAN presenta un marco teórico que permite desarrollar un modelo de decisión, fue diseñada para un análisis exhaustivo de cada proyecto, y no para una evaluación de múltiples proyectos simultáneos, como es el caso de un contexto de reconstrucción. Resulta de alta complejidad y costo aplicarla a análisis cuya área de influencia sea demasiado extensa y es por ello que se propone desarrollar una herramienta computacional que permita analizar de manera rápida múltiples proyectos, aunque ello implique una simplificación de dicha metodología. Aún así, un análisis de este tipo entrega información altamente relevante para la toma de decisiones y evaluación de proyectos educativos.

### **2.3 Modelos Matemáticos Asociados a la Localización de Establecimientos**

La localización de instalaciones en red y su interacción con la población ha sido modelada mediante múltiples enfoques. Un conjunto de ellos son los modelos de localización-asignación (9), cuyo objetivo es localizar instalaciones y asignar agentes según cierto comportamiento supuesto de preferencias.

Estos modelos pueden ser clasificados en cuatro categorías generales(10): modelos p-median, modelos de cobertura, modelos p-choice y modelos basados en las preferencias de consumidores.

Los modelos p-median buscan localizar cierto número (p, conocido a priori) de instalaciones minimizando la distancia promedio que separa a los consumidores o usuarios de la instalación más cercana. Matemáticamente su formulación es la siguiente(11):

$$\min \sum_{i,j} w_i d_{ij} x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_j x_{jj} = p \quad [1]$$

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad \forall i, \forall j \quad [2]$$

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad \forall i \quad [3]$$

donde

$w_i \in \mathbb{Z}^+$  : cantidad de población a servir del punto de demanda  $i$

$d_{ij} \in \mathbb{R}^+$  : distancia entre el punto de demanda  $i$  y la instalación  $j$

$$\text{Para } i \neq j \quad x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } d_{ij} = \min\{d_{ik} \mid k \in O\} \\ 0 & \sim \end{cases}$$

$O$ : Conjunto de instalaciones abiertas

$$\text{Para } i = j \quad x_{jj} = \begin{cases} 1 & \text{si se abre la instalación } j \\ 0 & \sim \end{cases}$$

Con las restricciones se asegura la apertura de exactamente  $p$  instalaciones [1], que los usuarios sean asignados [3] y solo a una instalación abierta [2]. En este tipo de modelos solo se minimiza la distancia recorrida por los agentes, sujeto a una cantidad fija de instalaciones. En el caso de la formulación Uncapacitated facility location model (12) se incorpora en la función objetivo los costos en que se incurren al abrir cada instalación.

Estos modelos en general se utilizan para determinar distribuciones de instalaciones que maximicen el acceso de la población. Ejemplos de este tipo de problemas son la localización de establecimientos de salud o de servicios públicos. En general este enfoque realiza el supuesto de que uno puede controlar la localización de todas las instalaciones de la red (enfoque normativo).

Los modelos de cobertura o covering tienen como objetivo identificar una configuración de la red que asegure el acceso a una instalación de la población potencial en una distancia o tiempo de viaje acotado. Este tipo de modelos fue desarrollado originalmente para problemas de localización en el sector público, como servicios de emergencia, donde el acceso juega un rol fundamental en el nivel de servicio entregado.

Un caso particular de este tipo de modelos son los Location Set Covering Problem (LSCP) donde se asume que los individuos que viven a una distancia o tiempo de viaje mayor a un cierto valor ( $S$ ) de una instalación no pueden ser atendidos por esta. Matemáticamente su formulación es la siguiente:



$$\min \sum_j c_j x_j$$

Sujeto a

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \quad [4]$$

Donde

$c_j \in \mathbb{R}$  : costo de la instalación  $j$

$N_i = \{j \mid d_{ij} \leq S\}$  : conjunto de localizaciones  $j$  que están a una distancia o tiempo de viaje ( $d_{ij}$ ) menor al requerido ( $S$ )

La función objetivo busca minimizar la cantidad de instalaciones (o el costo incurrido en ellas), cumpliendo la restricción de que toda la población debe ser atendida por al menos una institución localizada dentro de un cierto radio de distancia [4].

En muchas ocasiones el atender a toda la población con dichos estándares puede ser demasiado costoso y sea deseable relajar esta restricción. Este es el caso del Maximal Covering Location Problem (MCLP), cuya formulación matemática es la siguiente(13):

$$\max \sum_i w_i y_i$$

Sujeto a

$$\sum_j x_j = p \quad [5]$$

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq y_i \quad \forall i \quad [6]$$

Donde

$w_i \in \mathbb{Z}^+$  : cantidad de población a servir del punto de demanda  $i$

$N_i = \{j \mid d_{ij} \leq S\}$  : conjunto de localizaciones  $j$  que están a una distancia o tiempo de viaje ( $d_{ij}$ ) menor al requerido ( $S$ )

$y_i = \begin{cases} 1 & \text{si el punto de demanda } i \text{ es cubierto por alguna instalación} \\ 0 & \text{~} \end{cases}$

$x_j = \begin{cases} 1 & \text{si la instalación } j \text{ es abierta} \\ 0 & \text{~} \end{cases}$

En este modelo se maximiza la cantidad de población atendida (función objetivo y restricción 6) dado que se abren exactamente  $p$  instalaciones [5].

Ambos modelos adolecen de no considerar la configuración actual de la red, ni tampoco la capacidad de las instalaciones. Marianov y Serra, 1998 (14) desarrollan un modelo para incorporar la congestión de las instalaciones en el modelamiento. Sin embargo, en el caso de establecimientos educacionales la superación de cierta capacidad es restrictiva.

Tanto los enfoques de  $p$ -median como de cobertura suponen que los individuos asisten a la instalación más cercana. Esto lleva implícito que los servicios entregados, precios de acceso y calidad son iguales en todas las instalaciones. Para ello han sido diseñados los modelos  $p$ -choice y modelos basados en las preferencias de los consumidores. En ambos casos se incorporan, además de la distancia, otras características de las instalaciones que influyan en la decisión de los agentes y reflejen sus preferencias. En el primer caso se utiliza un enfoque estocástico utilizando las preferencias reveladas u observadas (probabilidad de acceder a una tienda, calculada por ejemplo mediante un modelo gravitacional), mientras que el segundo se basa en preferencias declaradas de los usuarios. En general estos modelos se utilizan en mercados competitivos, como los expendios de comidas o tiendas comerciales. Ejemplos de estas aplicaciones se pueden encontrar en Lowe and Sen, 1996 (15) y Parker and Srinivansan, 1976(16).

En ambos casos en que se incluyen las preferencias de los agentes, la información sobre el comportamiento de estos debe ser extensa, y no resulta trivial incluir una capacidad máxima del sistema.

El funcionamiento de la provisión de servicios públicos ha sido estudiado extensamente. Marianov y Taborga, 2001(17) resuelven el problema de localización óptima de centros de salud, maximizando la cobertura de población de bajos ingresos, considerando centros públicos gratuitos y privados pagados, suponiendo que la demanda asiste al centro más cercano. En el sistema educativo Molinero, 1988(18) estudia el cambio de la red de establecimientos educacionales dada la disminución en la natalidad en Inglaterra, considerando las características de la elección de los padres.

En general, para la localización de instalaciones de servicio público se han aplicado enfoques normativos que minimizan la distancia recorrida o maximizan la cobertura. En gran parte de ellos se han aplicado variaciones del modelo  $p$ -median. Entre ellos Pizzolato y Silva, 1997(19) utiliza una variante de un solo período de tiempo y determinística de  $p$ -median para encontrar localización óptima de escuelas en Brasil, sin considerar capacidades. Pizzolato, Broseghini y Nogueira, 2004(20) estudian la localización de establecimientos incorporando al problema  $p$ -median restricciones de capacidad (Capacity  $p$ -median Problem). En Pizzolato et al., 2004(21) se evalúa la distribución de colegios en cinco ciudades brasileñas, comparando la distribución real con la óptima. En Pizzolato, 1994 (22) se propone una heurística para resolver problemas  $p$ -median de mayor tamaño, aplicado a la localización de escuelas urbanas. Photis y Koutsopoulos, 2003(23) aplican  $p$ -median para desarrollar un sistema de apoyo a la toma de decisiones sobre localización de establecimientos en Grecia. Broseghini et al., 2003(24) resuelve a través de heurística

Lagrangeana un problema de p-median incluyendo capacidad, decidiendo donde abrir un establecimiento, asignando los estudiantes (sin distinguir por grado).

Cohen et al, 2003(25), en un trabajo para la CEPAL, optimizan la distribución de establecimientos en la provincia de Buenos Aires, minimizando el gasto total del sistema (costos de infraestructura, operación y transporte, sin considerar calidad), pudiendo eliminar o disminuir el tamaño de los ya existentes y crear nuevos -considerando los costos de transición, suponiendo que los estudiantes asisten al establecimiento más cercano. Para ello considera zonas geográficas para caracterizar la localización de estudiantes y alumnos, los cuales se modelan de manera agregada.

Antunes y Peeters, 2000(26) plantean un modelo multiperíodo para rediseñar una red educacional considerando la configuración actual, permitiendo aumentar o disminuir la capacidad de los establecimientos (incluso cerrarlos o abrir nuevos). Aseguran cobertura universal de la demanda minimizando los costos sociales, donde se decide la asignación de los estudiantes, la localización y capacidad de los establecimientos en cada período. Sin embargo consideran demanda sin distinción de grados, y su resolución en tiempo razonable, incluso utilizando heurísticas, solo es posible para problemas de menor tamaño (problemas con menos de 30 puntos de oferta, 30 puntos de demanda y 3 períodos de tiempo).

A nivel nacional Gac et al., 2006(27)(28) desarrollan un modelo determinístico de programación entera mixta que maximiza el beneficio social, relacionando los establecimientos y estudiantes distribuidos en zonas. Incluyen los costos de operación (mantención y gestión), los ingresos según dependencia, los excedentes de los estudiantes y los gastos gubernamentales. Este modelamiento ha sido enfocado en el ámbito urbano, sin distinguir por niveles a los estudiantes. Su aplicación fue experimental, sin considerar la situación actual de la red, ni tampoco la estimación real de algunos parámetros del modelo, como el nivel de calidad de los establecimientos.

Martínez et al., 2007 (29)(30) plantean dos modelos que permiten mejorar la distribución espacial de los establecimientos. El primero de ellos busca el equilibrio de precios entre oferta (establecimientos) y demanda (estudiantes). Mediante el segundo se encuentra el óptimo de precios, la localización y características de los establecimientos, que maximicen la esperanza de utilidad de los agentes en su conjunto (beneficio social). Dichas utilidades se estiman mediante modelos logit multinomiales restringidos. Como resultado se tiene una construcción óptima de la red de establecimientos dada una distribución de hogares y comportamientos de los agentes. Con ello se pueden realizar estudios sobre los impactos sociales agregados de determinadas características de la red (como por ejemplo la disminución de utilidad de los hogares al aumentar la segregación social en los establecimientos), pero no incorpora la posibilidad de evaluar una red existente real de manera detallada.

Araya et al, 2010 (31)(32) desarrollan un modelo específico al ámbito rural, donde se maximiza el beneficio social, considerando los costos de transporte, operacionales, de construcción (o modificación de los establecimientos). Su objetivo es mejorar la red existente, modificando la localización y características (composición de la oferta) de los establecimientos rurales. El modelamiento de la demanda es desagregado a nivel de grados.

Sin embargo, no considera en el análisis los establecimientos ni la demanda urbana, ni tampoco algún indicador de calidad educativa.

En términos generales, los modelos urbanos han sido desarrollados de manera agregada, es decir considerando puntos de demanda y oferta agrupados y caracterización de la demanda sin distinguir grados. Sin embargo, el estudio de la realidad rural exige tener un nivel de desagregación amplio, dada la demanda y oferta limitada que poseen (solo estudiantes de primero a sexto básico con centros de demanda levemente poblados y a gran distancia). Por otro lado, el solo modelamiento de la configuración rural omite, por ejemplo, la multiplicidad de opciones de oferta de los establecimientos en términos de grados, además de la convivencia intensiva de diferentes tipos de administración (prácticamente todos de dependencia municipal).

En el presente trabajo se busca resolver el problema de la red global de establecimientos (incluyendo rurales y urbanos) además de contar con un nivel de desagregación suficiente para dar indicaciones generales sobre establecimientos específicos, dado que la evaluación de proyectos de reconstrucción así lo exige. Además, se busca incluir múltiples factores en la función objetivo, considerando los impactos en sostenedores, actores públicos y sociales.

### **3 MODELAMIENTO DEL SISTEMA EDUCACIONAL**

Dentro de la evaluación de proyectos de infraestructura educacional, como lo indica la metodología de MIDEPLAN, debe realizarse tanto un análisis del establecimiento objeto del proyecto así como de su entorno (otros establecimientos, vías de acceso, población afectada). Si bien el modelamiento no pretende incorporar las complejidades de un análisis exhaustivo como el propuesto por MIDEPLAN, si debe permitir evaluar una gama de proyectos en que sea posible variar la capacidad del establecimientos objetivo.

Para realizar este análisis del establecimiento y su entorno el sistema educacional fue modelado como una red de nodos de oferta o establecimientos educacionales y nodos de demanda, que en este caso corresponden a los estudiantes, interconectados mediante la factibilidad de asistencia de un estudiante a un establecimiento.

Como se expuso anteriormente, existe una gran heterogeneidad de establecimientos, cuyas características influyen en la evaluación de los proyectos. Sin embargo, en el modelamiento es necesario definir un número acotado de especificaciones que describan de buena manera a un establecimiento.

Primeramente los establecimientos son caracterizados por su localización espacial (coordenadas geográficas), la cual es un dato imprescindible para describir la cobertura del sistema escolar en Chile<sup>5</sup>, que debe ser asegurada en educación básica y media.

Cada establecimiento puede ofrecer un conjunto de grados desde primero básico a cuarto medio. En este caso la educación pre-básica y tipos de enseñanza no tradicionales

---

<sup>5</sup> Rigurosamente basta con las distancias entre nodos, pero en este caso fueron necesarias las coordenadas para calcular las distancias.

fueron omitidos por falta de información en las coordenadas de los establecimientos. Adicionalmente la baja escolaridad de los estudiantes de pre-básica en comparación a otros niveles y la poca participación relativa que tiene en el sistema la educación no tradicional - 7% de matrícula al 2009- dificultan el manejo de la demanda.

Los establecimientos atienden en ocasiones solo a un género (hombres o mujeres) o ambos, factor a considerar para asegurar la cobertura efectiva de la red.

Para la capacidad de los establecimientos se consideró una capacidad actual instalada, que en el caso de la evaluación de un terremoto es la capacidad con la que quedó un establecimiento previo a cualquier arreglo, y la capacidad máxima ampliable que tiene dicho local, medidas en cantidad de estudiantes por grado. Por tanto, la capacidad final de un establecimiento fluctuaría entre ambas capacidades, considerando los costos de construcción relevantes y particulares para ese caso.

Los costos asociados a los establecimientos considerados relevantes fueron los de construcción/reconstrucción/ampliación y operación. En el caso de los primeros, dependen directamente de la capacidad extra que se haya decidido habilitar. En el caso de los costos de operación, fueron considerados proporcionales a la cantidad de estudiantes que posee el establecimiento, valor que puede ser distinto según el establecimiento, además de un costo base que evite distorsiones en establecimientos con pocos alumnos.

La calidad educativa fue modelada como un factor exógeno al resto de las variables analizadas, dado que la literatura en este ámbito no es concluyente con respecto a la relación entre calidad y tamaño de un establecimiento(2). Por tanto el factor a estimar en este caso es el valor agregado (en términos educativos) que entrega el establecimiento a los alumnos, independiente de las características de ellos. Esto representa un supuesto fuerte dentro del modelo, pero es razonable evaluar la calidad de los establecimientos por el valor de aprendizaje adicional que entregan, independiente del conocimiento o habilidades iniciales que tengan los estudiantes.

Los estudiantes son agrupados en puntos de demanda con localización geográfica, caracterizados por la cantidad que asiste a cierto grado, el género y su urbanidad (asociado a la localización geográfica). Si bien originalmente fue considerado importante para este modelamiento el nivel socio económico de ellos, al caracterizar la calidad como un factor exógeno asociado a los establecimientos resulta innecesaria su estimación.

Los puntos de demanda -estudiantes- y los establecimientos se relacionan mediante arcos, caracterizados por la distancia entre ambos nodos. Resulta razonable acotar las distancias máximas de viaje de los estudiantes, dependiendo de su nivel de urbanidad y del grado al que asisten. Dicha cota además depende de si el establecimiento es internado, pues la distancia a la que pueden estar los hogares de los estudiantes que asisten a ellos puede ser considerablemente mayor, dado que los viajes entre ambos nodos no se realizan diariamente.

Dada la cobertura universal en los grados analizados, el problema a resolver consiste en asignar la totalidad de los estudiantes a algún establecimiento, considerando la capacidad

de estos en términos de grado y género y la distancia a los puntos de demanda, minimizando costos (construcción, operación, transporte) y maximizando la calidad.

Adicionalmente se posibilita fijar algunos establecimientos educacionales, lo que significa que el modelo intentará mantener la matrícula igual a la del año anterior. Esto es relevante para mantener un establecimiento inalterado en términos globales, por ejemplo, si se desea obligar a reconstruir un establecimiento con ciertas características o si se desea evaluar el comportamiento de cierto tipo de establecimientos, sin alterar el de otros (municipales sin alterar los particulares subvencionados por ejemplo).

### 3.1 Descripción Matemática

Las componentes del Problema de Programación Lineal Mixta son descritas a continuación.

#### 3.1.1 Índices

$a \in A$  : Áreas de localización de la población, nodos de demanda (entidades rurales y clúster de manzanas urbanas)

$l \in L$  : Localizaciones de establecimientos educacionales existentes y potenciales, nodos de oferta

$g \in G$  : Niveles de enseñanza de educación básica y media. Estos fueron agrupados por intervalos cuyas combinaciones permitían describir de buena forma gran parte de la oferta educativa (ver Cantidad de Estudiantes, página 30):

- De Primero a Sexto Básico
- Séptimo y Octavo Básico
- Educación Media (de Primero a Cuarto Medio)

$s \in S$  : Género (masculino o femenino)

$u \in U$  : Tipo de urbanidad (urbano o rural)

#### 3.1.2 Conjuntos

$F \subseteq L$  : Subconjunto de establecimientos cuya matrícula se desea igualar con la del año anterior

$I \subseteq L$  : Subconjunto de los establecimientos que son internados

$Ge \subseteq S \times L$ : Género que atiende un establecimiento (solo mujeres, solo hombres, mixto)

### 3.1.3 Parámetros

$d_{ags}$  : Cantidad de estudiantes (demanda) por área (a), grado (g) y sexo (s).  
[Número de alumnos]

$dist_{al}$  : Distancia entre un área de demanda (a) y un establecimiento (l) (arcos).  
[Metros]

$dist_{max_{gu}}$ : Distancia máxima, entre un punto de demanda y un establecimiento no internado, a la que se pueden asignar alumnos según grado (g) y tipo de urbanidad (u).  
[Metros]

$dist_{max_g}^{inter}$ : Distancia máxima, entre un punto de demanda y un internado, a la que se pueden asignar alumnos según grado (g). [Metros]

$mat0_l$  : Matrícula anterior (pre-terremoto) por establecimiento (l). [Número de alumnos]

$e0_{lg}$  : Capacidad actual/inicial (post-terremoto, pre-reconstrucción) para el establecimiento (l) y grado (g). [Número de alumnos]

$ef_{lg}$  : Capacidad final máxima que se puede tener (post-reconstrucción) para el establecimiento (l) y grado (g). [Número de alumnos]

$f_{lg}$  : Indicador de calidad para el establecimiento (l) y grado (g). [Puntos SIMCE]

$\alpha$  : Valoración social anual de un punto SIMCE en pesos. [\$/Punto SIMCE]

$c_l$  : Costo de construcción/reconstrucción/ampliación anual para el establecimiento (l) desde la capacidad inicial a la máxima. [\$/]

$cop_l$  : Costo de operación marginal (por alumno) anual para el establecimiento (l). [\$/alumnos]

$cota_{cfijo}$  : Número de alumnos hasta el cual el costo de operación es constante.  
[Número de alumnos]

$cop_{base}$  : Costo de operación anuales que tiene un establecimiento con igual o menor cantidad de alumnos que la  $cota_{cfijo}$ . [\$/]

$ctrans_u$  : Costo de transporte anual por alumno por km según urbanidad (u).  
[\$/alumno\*km]

$Ppto_{cons}$  : Presupuesto anual de construcción/reconstrucción/ampliación para todos los establecimientos analizados. [\$/]

$Ppto_{op}$  : Presupuesto anual de operación para todos los establecimientos analizados.  
[\$]

$\beta_{calidad}$  : Coeficiente de importancia relativa de la calidad en la función objetivo

$\beta_{cons}$  : Coeficiente de importancia relativa del costo de construcción en la función objetivo

$\beta_{op}$  : Coeficiente de importancia relativa del costo de operación en la función objetivo

$\beta_{trans}$  : Coeficiente de importancia relativa del costo de transporte en la función objetivo

$\rho$  : Penalización por alumno no asignado

### 3.1.4 Variables

$w_l \in [0,1]$  : Proporción de construcción/reconstrucción/ampliación entre la capacidad inicial y la máxima del establecimiento (l).

$b_l \in \{0,1\}$  : Variable binaria que indica si el establecimiento (l) puede recibir alumnos (1) o no (0). Esta variable es necesaria para calcular los costos operacionales fijos del sistema.

$y_{agsl} \in [0,1]$ : Proporción de alumnos del área (a), grado (g), sexo (s), que van al establecimiento (l).

$v_l \in \mathbb{N}^*$  : Alumnos por sobre *cota\_cfijo* que van al establecimiento (l). [Número de alumnos]

$dum_{ags} \in [0,1]$ : Proporción de alumnos del área (a), grado (g), sexo (s) que no pudieron ser asignados a ningún establecimiento. Es necesario definirla para asegurar la factibilidad del problema y será penalizada en la función objetivo. [Número de alumnos]

### 3.1.5 Restricciones

La distancia de viaje de los alumnos no puede superar la cota máxima definida para cada grado y nivel de urbanidad. En el caso de los internados, se permite una distancia de viaje distinta (en general mayor), considerando que los alumnos no viajan diariamente a dichos establecimientos.

$$\forall l \in I, a \in A \quad dist_{al} \leq dist_{max}_g^{inter} \quad [1]$$

$$\forall l \notin I, a \in A \quad dist_{al} \leq dist_{max}_{g u(a)} \quad [2]$$



Restricción de Género, donde solo se pueden asignar alumnos del género que atiende un establecimiento (los que pueden ser: masculinos, femeninos, o mixtos)

$$\forall (s, l) \notin Ge, a \in A, g \in G \quad y_{agsl} = 0 \quad [3]$$

Se definió una variable auxiliar para reflejar la cantidad de alumnos por sobre la cota del costo fijo operacional, es decir, la cantidad de alumnos a los que se les aplica el costo operacional variable. Esta variable por definición es mayor que cero, y se acota inferiormente con la siguiente restricción por la cantidad de alumnos que superen la *cota\_cfijo* que fueron asignados al establecimiento.

$$\forall l \in L \quad v_l \geq \sum_{\substack{a \in A \\ g \in G \\ s \in S}} y_{agsl} d_{ags} - cota\_cfijo \quad [4]$$

Como los costos operacionales se minimizan en la función objetivo y son directamente proporcionales al valor de  $v_l$ , esta variable siempre tomará su valor mínimo.

Se restringe que los establecimientos fijos no pueden tener más alumnos asignados que la matrícula pre-terremoto (cota superior).

$$\forall l \in F \quad \sum_{\substack{a \in A \\ g \in G \\ s \in S}} y_{agsl} d_{ags} \leq mat0_l \quad [5]$$

Un establecimiento que no asuma costos los costos fijos ( $b_l = 0$ ) no puede tener alumnos asignados.

$$\forall l \in L, g \in G \quad \sum_{\substack{a \in A \\ s \in S}} y_{agsl} d_{ags} \leq ef_{lg} \cdot b_l \quad [6]$$

No se pueden asignar más alumnos que la capacidad máxima de un establecimiento. Esta capacidad se calcula como la capacidad inicial más la proporción que se decidió construir/reconstruir/ampliar de la capacidad adicional que se puede agregar (diferencia entre la capacidad final máxima y la inicial, ponderado por la proporción que se desea ejecutar).

$$\forall l \in L, g \in G \quad \sum_{\substack{a \in A \\ s \in S}} y_{agsl} d_{ags} \leq e0_{lg} + (ef_{lg} - e0_{lg}) \cdot w_l \quad [7]$$

Todos los estudiantes deben ser asignados a algún establecimiento o ser considerados en la variable  $dum_{ags}$  que agrupa a los estudiantes no asignados, la cual es penalizada en la función objetivo.

$$\forall a \in A, g \in G \quad \sum_{l \in L} y_{agsl} + dum_{ags} = 1 \quad [8]$$

Los proyectos desarrollados no pueden superar el presupuesto de construcción y de operación globales.

$$\sum_{l \in L} c_l \cdot w_l \leq Ppto_{cons} \quad [9]$$

$$\sum_{l \in L} (b_l \cdot cop_{base} + v_l \cdot cop_l) \leq Ppto_{op} \quad [10]$$

### 3.1.6 Función Objetivo

El primer objetivo del modelo es maximizar la calidad del sistema. Este beneficio es calculado como la suma ponderada de la cantidad de alumnos asignados a un establecimiento multiplicado por el indicador de calidad del mismo el que está multiplicado a su vez por el factor de valoración de esta.

$$benef_{calidad} = \sum_{\substack{a \in A \\ g \in G \\ s \in S \\ l \in L}} y_{agsl} \cdot d_{ags} \cdot \alpha \cdot f_{lg} \quad [11]$$

El segundo objetivo es disminuir los costos del sistema. El costo de construcción es la suma del costo de las construcciones/reconstrucciones/ampliaciones de todos los establecimientos, calculado como el costo de realizar la intervención completa, dejándolo con la capacidad final máxima ponderado por la proporción en que fue realizado ( $w_l$ )

$$costo_{cons} = \sum_{l \in L} w_l \cdot c_l \quad [12]$$

El costo de operación corresponde a la suma de los costos fijos de los establecimientos que recibieron alumnos más los costos variables, aplicados a los estudiantes que superan la cota del costo fijo ( $v_l$ )

$$costo_{op} = \sum_{l \in L} b_l \cdot cop_{base} + v_l \cdot cop_l \quad [13]$$

Los costos de transporte, que corresponden al costo de viaje, ponderado por la distancia y la cantidad de alumnos que debe viajar dicha distancia ( $y_{agsl} \cdot d_{ags}$ ).

$$costo_{trans} = \sum_{\substack{a \in A \\ g \in G \\ s \in S \\ l \in L}} c_{trans_{u(a)}} \cdot y_{agsl} \cdot d_{ags} \cdot dist_{al} \quad [14]$$

Adicionalmente se realizan dos penalizaciones:

Se aplica un costo por cada estudiante que no fue asignado a algún establecimiento.

$$penal_{no\ asignados} = \sum_{\substack{a \in A \\ g \in G \\ s \in S}} dum_{ags} \cdot d_{ags} \quad [15]$$

Se aplica un costo por cada alumno menos que se asigne a un establecimiento fijo, en comparación a la matrícula pre-terremoto, que sumado a la restricción [4] logra tender a asignar la misma cantidad de alumnos que la matrícula pre-terremoto<sup>6</sup>.

$$penal_{fijos} = \sum_{l \in F} \left( mat0_l - \sum_{\substack{a \in A \\ g \in G \\ s \in S}} y_{agsl} \cdot d_{ags} \right) \quad [16]$$

Finalmente la función objetivo es la suma ponderada por los factores de pesos relativos que permiten reflejar los requerimientos particulares de la entidad que lo resuelva

$$\max \{ \beta_{calidad} \cdot benef_{calidad} - \beta_{cons} \cdot costo_{cons} - \beta_{cop} \cdot costo_{op} - \beta_{ctrans} \cdot costotrans - \rho \cdot penal_{no\ asignados} - \rho \cdot penal_{fijos} \}$$

## 4 ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

A continuación se presenta la metodología de estimación de los parámetros sobre los cuales se construye el modelo de optimización. Uno de los aspectos más complejos de este problema, más allá del diseño e implementación del modelo, es el cálculo de los parámetros en base a los cuales se construye, no sólo por la amplitud de los datos requeridos, sino por la baja disponibilidad de estos, lo cual obliga a realizar estimaciones o aproximaciones.

En este capítulo se presentan los datos analizados, los cuales se pueden clasificar en dos grandes áreas: datos de la demanda y datos de la oferta. En la demanda se agrupan todos los aspectos relacionados con las características de la población y de los alumnos que inciden en el modelamiento del sistema, mientras que los datos de la oferta se refieren básicamente a las características de los establecimientos.

### 4.1 Análisis de la Demanda

Existen cuatro aspectos relevantes que se deben analizar:

- La **localización** geográfica de la demanda (los estudiantes).
- La **cantidad** de estudiantes, con el correspondiente grado al que asisten.
- La red de caminos y las **distancias** de los hogares a los establecimientos.
- La disposición a viajar.

#### 4.1.1 Localización de la Población

Una de las fuentes de datos analizada fue la matrícula de los establecimientos, pero dicha información, si bien es altamente actualizada y contiene la demanda real de los establecimientos, o sea los estudiantes que efectivamente asisten a ellos, no incluye la

<sup>6</sup> Cota inferior penalizada de alejarse de la matrícula pre-terremoto.

referencia geográfica del lugar de origen de los estudiantes, mas allá de la comuna de la que provienen.

En este contexto fue necesario buscar otra fuente de datos que sí contara con georeferencias con alto nivel de desagregación, y además con información sobre los estudiantes.

El Instituto Nacional de Estadísticas (INE) cuenta con la georeferencia, tanto a nivel rural como urbano, de la localización de la población con un alto nivel de desagregación. En el ámbito rural se tiene información a nivel de Entidad Rural y en el contexto urbano a nivel de Manzana (ver Ilustración 1).

Al CENSO de Población y Vivienda 2002(33) existían 37.914 Entidades Rurales, de las cuales el 100% cuenta con alguna referencia geográfica debido a trabajos realizados previamente por investigadores de la Universidad de Chile(34).

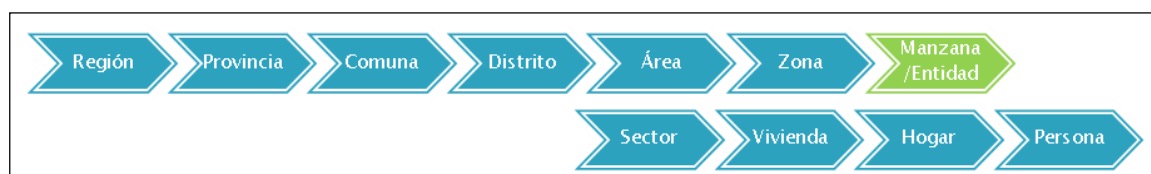


ILUSTRACIÓN 1: CATEGORÍAS CENSO

Dada la baja densidad poblacional y la alta dispersión existente en el ámbito rural en Chile, resulta conveniente y acertado considerar el menor nivel de agregación posible.

Para el CENSO 2002 existían 139.945 manzanas en Chile. El considerar tal nivel de desagregación puede resultar injustificado, debido a la poca distancia entre las Manzanas (alto nivel de concentración) y por las dificultades de manejo y procesamiento que conlleva el trabajar con una cantidad tan grande de parámetros y variables. El siguiente nivel de agregación disponible corresponde a las Zonas, las cuales eran 3.185 al 2002.

A modo de ejemplo, para la comuna de Santiago existen 51 zonas y 1.567 Manzanas. En la Ilustración 2 se observan las zonas que corresponden a los distintos colores y las manzanas que corresponden a los pequeños recuadros determinados por las líneas que cruzan el mapa de la comuna.

Teniendo como referencia que la cantidad de colegios de la comuna de Santiago son 106<sup>7</sup>, resulta razonable esperar que al menos la cantidad de puntos de demanda sea mayor que la cantidad de colegios, por lo que la agrupación en zonas urbanas resulta demasiado gruesa.

Debido a lo anterior se han considerado las manzanas agrupadas para obtener un número suficientemente pequeño para trabajarlo de manera simple, pero que a su vez no sea una simplificación demasiado grande.

<sup>7</sup> Fuente: [www.simce.cl](http://www.simce.cl) (visitado el 15 de Diciembre de 2010).

Para realizar esta agrupación se ha utilizado el método de análisis de cluster *k-means*, con el cual se tiene la ventaja de fijar la cantidad de grupos finales a priori.

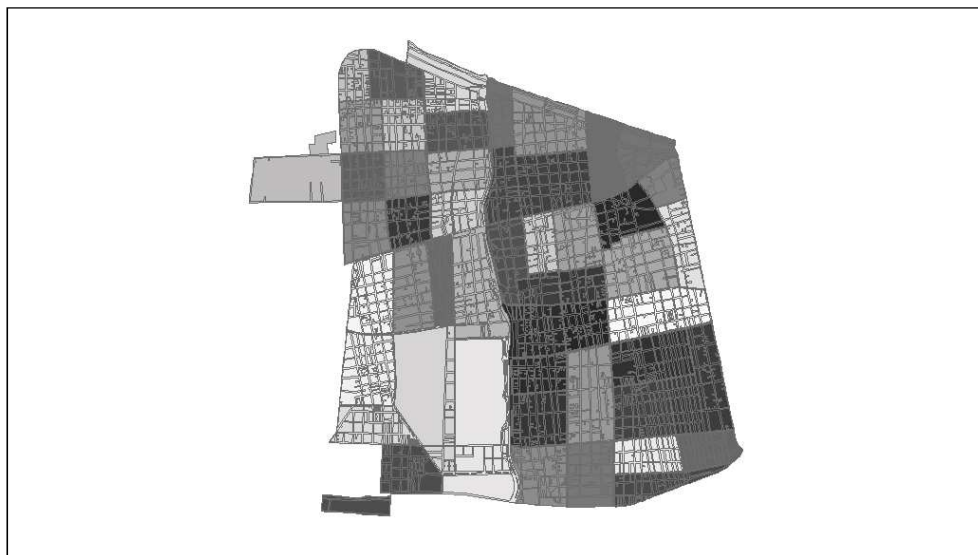


ILUSTRACIÓN 2: COMUNA DE SANTIAGO

#### 4.1.2 Procesamiento de la Cartografía Urbana

El INE cuenta con la cartografía digital urbana a nivel de manzana. Dicha información se encuentra almacenada en el formato ESRI *shapefile*<sup>8</sup>, con los polígonos de las ciudades y pueblos de Chile, divididos en 350 archivos distintos.

Dichos archivos contienen 150.833 manzanas. La mayor cantidad de manzanas con respecto al CENSO 2002 está explicada por factores como la diferencia de fecha de la cartografía (2009 vs. 2002) y la existencia de manzanas que para el CENSO no son relevantes por no estar habitadas.

Aplicando el algoritmo *k-means* se agregó las manzanas hasta lograr un conjunto de conglomerados que fuera aproximadamente la mitad de las manzanas originales. Finalmente se construyeron 75.435 clusters utilizando como variables de agrupación las coordenadas XY de cada manzana. En la Ilustración 3 se muestra un ejemplo del funcionamiento del método *k-means* aplicado a este caso. Se puede observar la creación de cinco conglomerados a partir de las manzanas de la ciudad de Tomé.

---

<sup>8</sup> Tipo de archivos asociados al almacenamiento de información geográfica.

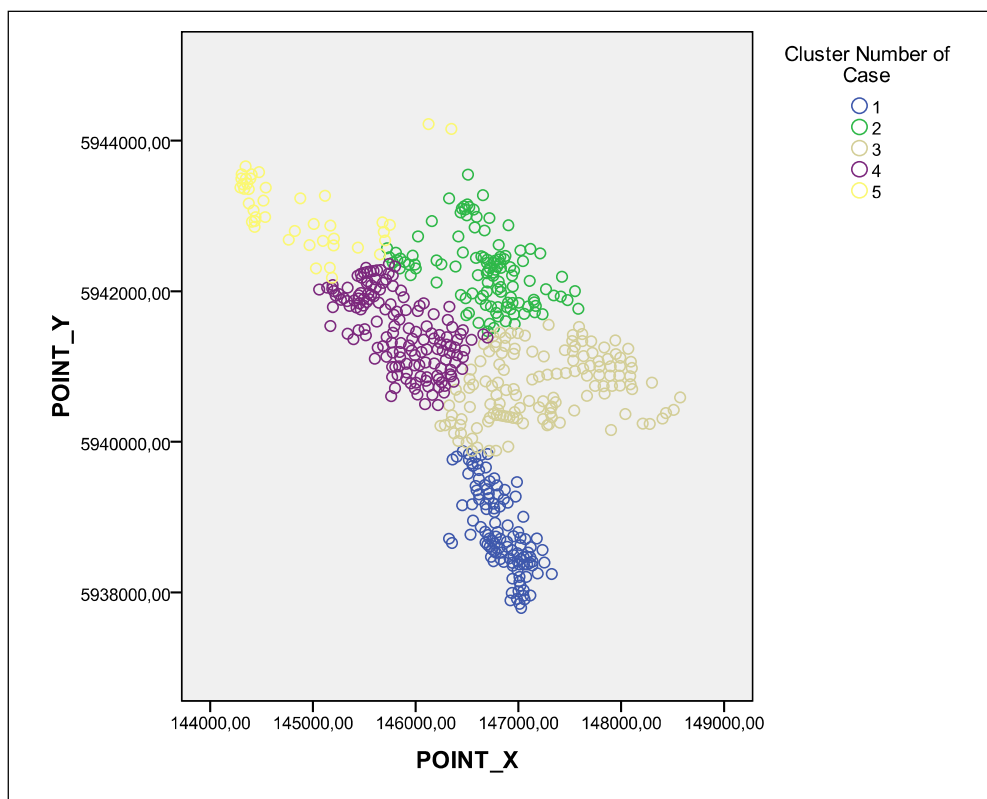


ILUSTRACIÓN 3: CLUSTERS DE MANZANAS - TOMÉ

### 4.1.3 Cantidad de Estudiantes

Para caracterizar la demanda de manera óptima sería necesario contar, para cada manzana, con la cantidad de estudiantes (por género), además del grado y establecimiento al que asisten.

El CENSO de Población y Vivienda 2002 es uno de los pocos estudios georeferenciables que trabaja con un nivel de agregación menor a una comuna. En él es posible encontrar información como el sexo y la edad simple de los habitantes de dicha manzana, sin embargo no posee referencias sobre la cantidad de estudiantes, ni el grado y establecimiento al que asisten.

Para poder trabajar con dicha información es necesario realizar supuestos. Una solución es considerar que los estudiantes corresponden a los habitantes entre 6 y 17 años. Esta aproximación resulta razonable pues la escolaridad, o sea la proporción de estudiantes que asisten a algún establecimientos por edad, en el sistema de educación tradicional (de primero básico a cuarto medio) para dichos tramos etarios es bastante alta (sobre 80%), salvo a los 17 años (ver Tabla 3). Sin embargo, se observa que a los 18 años existe población que aún asiste a los establecimientos, y dichos estudiantes compensan satisfactoriamente la cantidad de personas de 17 años que no es estudiante.

TABLA 3: ESCOLARIDAD POR EDAD SIMPLE<sup>9</sup>

EDAD	TOTAL			BÁSICA/MEDIA TRADICIONAL		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010
4	51,7%	59,7%	62,7%	0,0%	0,0%	0,0%
5	79,5%	84,1%	84,9%	0,1%	0,0%	0,0%
6	91,2%	93,4%	91,8%	81,9%	82,6%	80,8%
7	95,1%	95,1%	95,2%	94,4%	94,3%	94,3%
8	92,2%	97,7%	95,8%	91,5%	96,9%	95,0%
9	94,4%	94,5%	98,3%	93,7%	93,6%	97,5%
10	93,5%	96,8%	95,2%	92,7%	95,9%	94,3%
11	94,9%	95,8%	98,0%	94,1%	94,9%	97,0%
12	93,3%	97,0%	96,5%	92,5%	96,1%	95,6%
13	94,6%	94,6%	97,0%	93,7%	93,6%	96,0%
14	92,7%	92,8%	92,8%	91,6%	91,6%	91,6%
15	90,9%	89,6%	91,9%	89,0%	87,5%	89,6%
16	87,6%	85,3%	88,1%	84,6%	81,9%	84,2%
17	85,2%	82,0%	83,9%	79,8%	75,6%	76,7%
18	32,3%	31,2%	31,7%	23,8%	22,3%	22,7%
19	10,8%	10,2%	10,5%	4,9%	4,6%	4,7%
20	4,1%	3,9%	4,5%	0,9%	0,8%	0,9%
21	2,2%	2,1%	2,7%	0,1%	0,1%	0,2%

Por otro lado es posible suponer que cada grupo etario asiste a un grado específico, partiendo desde 6 años (Primero Básico) hasta 17 años (Cuarto Medio).

En la Tabla 4 se observa que la mayoría de los estudiantes que asiste a cada uno de los grados posee la edad correspondiente al grupo etario de la estimación anterior. Sin embargo existe una proporción no despreciable de estudiantes de edad inmediatamente superior a la aproximada que asiste a dicho grado, pero en términos agregados la diferencia se compensa con la cantidad de estudiantes que por edad les corresponde ese grado, pero que están en el grado inferior. En términos generales este ajuste debiera entregar una aproximación razonable de la cantidad de estudiantes que asiste a cada grado.

<sup>9</sup> Elaboración propia, en base a Proyecciones de la Población por Edad Simple del INE (3) y la matrícula de los establecimientos del SIGE (34).

**TABLA 4: CANTIDAD DE ESTUDIANTES POR EDAD SIMPLE Y GRADO (EN MILES)**

GRADO		EDAD														
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
BÁSICA	1		205	37	3	1										
	2			199	43	6	1									
	3				200	45	8	2	1							
	4					190	47	8	2	1						
	5						195	50	12	4	1					
	6							192	52	13	4	1				
	7								194	53	16	5	1			
	8									188	52	14	4	1		
MEDIA	1									187	65	21	5	1		
	2										167	61	19	4		
	3											155	57	13	2	
	4												145	50	11	

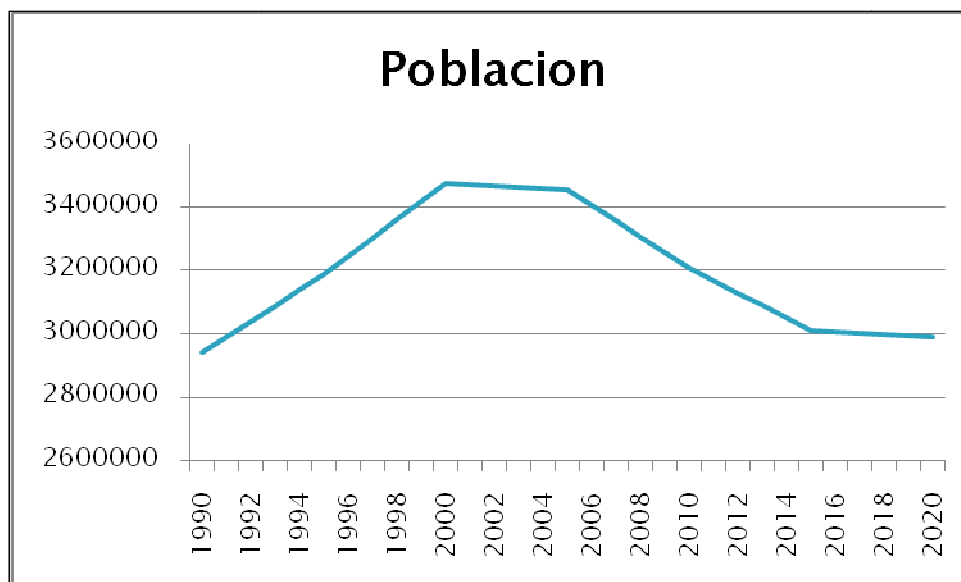
La pertenencia de los estudiantes de las manzanas a un establecimiento específico cobra relevancia para calcular la distancia de viaje, pero no para la construcción de este modelo, debido a que el foco no es modelar el comportamiento de la población en cuanto a la elección de establecimientos de manera detallada, sino asegurar una cobertura de la red educacional. Por otro lado, no se cuenta con información que relacione la localización de los estudiantes (al nivel de detalle requerido) con los establecimientos a los que asisten.

#### **4.1.3.1 Proyecciones Demográficas**

Un factor importante a considerar es el crecimiento de la población desde el 2002 a la fecha y las proyecciones a futuro. El INE posee estadísticas de proyecciones hasta el 2020 por edad(3), pero solamente a nivel comunal. Dichas proyecciones consideran tanto migraciones, como natalidad y muerte.

Al revisar las proyecciones de población para los habitantes entre 6 y 17 años a nivel nacional se puede ver que las estimaciones indican que la población en dicho grupo etario está disminuyendo (ver Ilustración 4).





**ILUSTRACIÓN 4: PROYECCIONES DE CANTIDAD DE HABITANTES ENTRE 6 Y 17 AÑOS EN CHILE**

La Constitución vigente en Chile indica que el Estado debe “asegurar el acceso a (la educación básica y la educación media) de toda la población”. Por ello, es necesario desarrollar un sistema educativo que abarque la totalidad de los estudiantes potenciales, tanto en el corto como en el mediano plazo. Sin embargo, como la población potencial proyectada está en disminución y las tasas de escolaridad no han aumentado de manera significativa los últimos años (ver Tabla 3), la máxima demanda se obtiene con los estudiantes que existen en la actualidad.

Para calcular la población 2010 en base a los datos del CENSO 2002 se ajustó la demanda a la matrícula comunal por nivel. Esto se realiza calculando la cantidad total de estudiantes en la comuna por nivel y distribuyéndolos según la proporción de habitantes que corresponden a dicha manzana o entidad. Esta proporción se calcula como el cociente entre la cantidad de habitantes de la edad relevante en dicha manzana o entidad dividida por la cantidad total de habitantes de la comuna de dicho rango etario.

Hay que tener en cuenta que dicha estimación ignora factores de migraciones intracomunales, y tampoco consideran los efectos geodemográficos del terremoto. Dicha información no ha podido ser incluida en la metodología anterior, lo que implica que la información calculada debe ser considerada solo a nivel agregado, pues estadísticamente las proyecciones específicas tienen errores mayores que las estimaciones a nivel macro.

Adicionalmente se realizó una estimación del Grupo Socio Económico (GSE) de los estudiantes en base a los datos del CENSO 2002, la cual resulta relevante pues del análisis global fueron sacados los estudiantes de mayor GSE, pues en general estos estudiantes asisten a establecimientos particulares pagados, los cuales no fueron considerados en este estudio dado que su comportamiento difiere bastante de los establecimientos subvencionados. Ambas cantidades excluidas (estudiante y establecimientos) representan cifras similares: 7,1% de la matrícula total del sistema en el caso de los establecimientos

particulares pagados, 7,2% en el caso de estudiantes con GSE de nivel E (el menos vulnerable).

#### 4.1.4 Cálculo de Distancias entre Establecimientos y Puntos de Demanda

Las distancias fueron calculadas dependiendo de la localización de los estudiantes. Si los puntos de demanda corresponden a entidades rurales es necesario tener particular consideración de los factores geográficos para este cálculo, debido a la gran separación entre ellos. Por tanto para este tipo de entidades se consideró la distancia a través del camino más corto que uniera ambos puntos sobre la red caminera de Chile(35), lo que se conoce como “distancia camino”.

Por otro lado, si los puntos de demanda corresponden a estudiantes ubicados en radios urbanos las distancias fueron calculadas proporcionales a la euclidiana multiplicada por  $2/\sqrt{2}$ , factor simula un plano damero<sup>10</sup>. Esto significa que la separación entre dos puntos queda determinada por el trazo recto que los une. Dicha simplificación resulta necesaria pues no se cuenta con toda la red caminera de las ciudades. Aún así es razonable pues las distancias en estos casos son mucho menores y dada la alta densidad de caminos se puede asumir que, en general, existe un camino relativamente directo que une dos puntos dentro de una ciudad, a diferencia de lo que ocurre en el mundo rural.

Para obtener la distancia de cada punto de demanda rural hasta los establecimientos educacionales en cada región fue necesario realizar el trabajo que se detalla a continuación.

##### 4.1.4.1 Cálculo de distancias a través de la Red Vial

Para calcular las distancias fue necesario construir una red conexas, lo que implica tres actividades principales:

- a) **Eliminación de arcos inconexos:** Se eliminan los arcos que no estén unidos a la red vial y que no se pueda determinar algún patrón para unirlos.

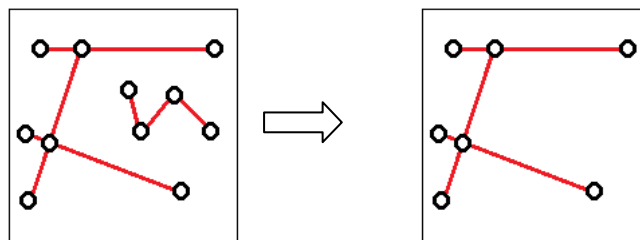


ILUSTRACIÓN 5: ELIMINACIÓN DE ARCOS INCONEXOS

<sup>10</sup> Se deduce de Pitágoras:  $d^2 = a^2 + a^2 \Rightarrow a = \frac{d}{\sqrt{2}} \Rightarrow 2a = \frac{2}{\sqrt{2}}d$

- b) **Conexión de puntos de demanda y oferta:** Para cada punto de demanda u oferta que no esté unido a la red, se agrega un arco que lo conecte, escogiendo el arco de menor distancia dentro de todos los posibles arcos de unión a construir.

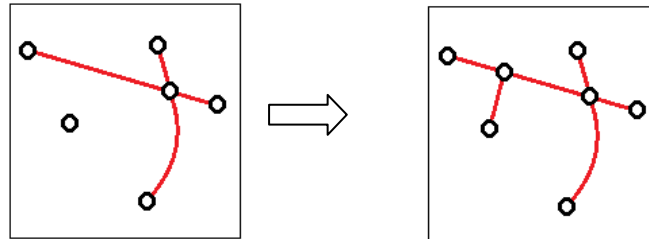


ILUSTRACIÓN 6: CONEXIÓN DE PUNTOS DE DEMANDA Y OFERTA

- c) **Generación de nodos de intersecciones:** Para cada intersección de caminos de la red vial, se agrega un nodo para representar esta conexión.

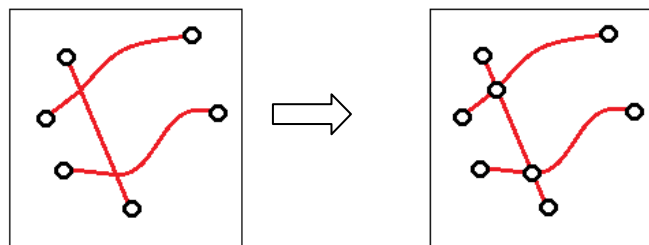


ILUSTRACIÓN 7: GENERACIÓN DE NODOS DE INTERSECCIONES

Luego de esto se obtiene finalmente una red topológica en la que es posible ir desde cualquier punto a otro a través de algún camino que los conecte.

Sobre la red procesada, se calcula la distancia camino entre cada par de nodos adyacentes. Para ello se utiliza el algoritmo de Rutas Mínimas para obtener el camino de menor distancia total entre cada par de puntos demanda-oferta, obteniendo además el valor de dicha distancia.

#### 4.1.5 Disposición a viajar

La evidencia indica que la cercanía del establecimiento al hogar es una de las variables más importantes para los padres, especialmente en los niveles socioeconómicos más bajos, tal como se muestra en la Ilustración 8.

## ¿En qué se fijan los papás?

La cercanía del establecimiento, su orientación valórica y los resultados académicos son las principales razones de los padres para escoger colegio para sus hijos.

### ¿Por qué razones matriculó al estudiante en este establecimiento? Primera razón (en %)

Razón	GSE bajo	GSE medio-bajo	GSE medio	GSE medio-alto	GSE alto	Promedio ponderado
Quedaba cerca de su domicilio	72,0	65,1	40,7	24,9	12,6	46,2
Orientación valórica o religiosa del establecimiento	3,7	5,6	18,0	27,9	35,7	15,9
Excelencia académica o buenos resultados en PSU o Simce	3,6	6,5	17,8	24,0	22,8	14,5
Otra razón	3,6	4,6	5,4	6,8	6,1	5,3
Los hermanos del estudiante estaban en ese establecimiento	3,4	4,7	5,4	5,2	6,6	5,1
Infraestructura del establecimiento	2,1	2,9	5,3	5,4	4,1	4,2
Era el más económico	5,5	5,0	3,2	1,7	0,5	3,5
Compañeros o amigos se matricularon en este establecimiento	1,8	1,5	1,7	1,5	0,9	1,6
El establecimiento era bilingüe	0,9	0,7	0,7	1,4	9,9	1,5
Era el único de la comuna	1,8	1,6	0,5	0,4	0,2	0,9
Tenía la especialidad técnico profesional que buscaba	0,9	0,9	0,9	0,4	0,3	0,8
No aceptaban al estudiante en otro establecimiento	0,7	0,8	0,5	0,5	0,3	0,6

### Opinión sobre calidad de la enseñanza impartida por el establecimiento

Muy satisfecho	31,6	28,8	35,9	36,6	39,5	33,7
Satisfecho	43,2	43,9	45,7	48,5	49,9	45,7
Ni satisfecho ni insatisfecho	16,4	17,8	12,8	10,7	7,8	14,0
Insatisfecho	6,5	7,0	4,5	3,6	2,6	5,2
Muy insatisfecho	2,3	2,4	1,1	0,6	0,3	1,5

GSE: Grupo Socioeconómico

Fuente Mineduc

EL MERCURIO

### ILUSTRACIÓN 8: CRITERIOS DE ELECCIÓN DE LOS APODERADOS(36)

Varias investigaciones analizan la relación entre la distancia y la preferencia de los padres. Chumacero et al., 2008 (37) analizan en base a datos de la encuesta CASEN (Caracterización Socioeconómico Nacional) la distancia que recorren los alumnos de la región Metropolitana para acceder a sus establecimientos.

De acuerdo a este estudio, la distancia promedio de los alumnos depende del grado. En educación básica la distancia recorrida promedio se encuentra en torno a los 2 kms., mientras que en la educación media da un salto, situándose en torno a los 5 kms. (ver Ilustración 9).

Por lo tanto, se estimó que la distancia máxima que pueden recorrer los alumnos es de 3 kms. en educación básica y 6 kms. en educación media. En consecuencia, en las zonas urbanas la disposición a viajar de los alumnos de educación media es el doble que en la educación básica.

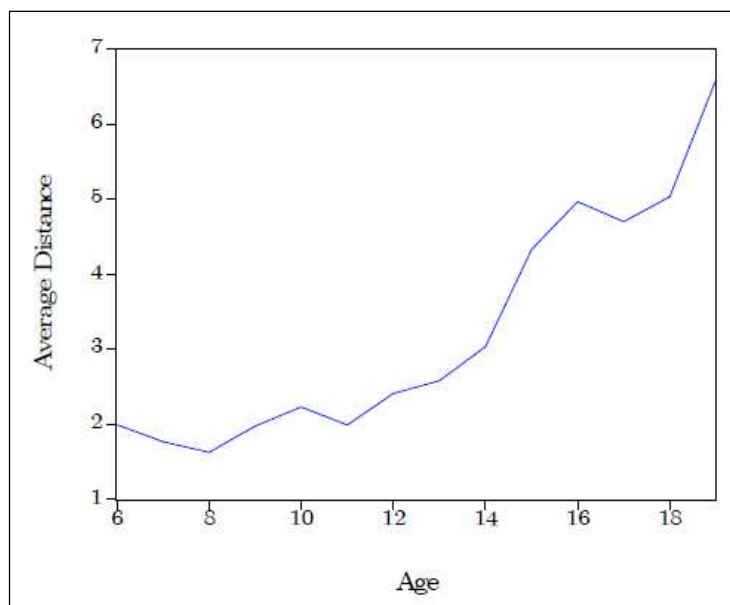


ILUSTRACIÓN 9: DISTANCIA PROMEDIO AL ESTABLECIMIENTO EN LA RM(37)

Para los establecimientos rurales se supuso que los alumnos de educación media recorren un máximo de 30 kms., mientras que los de educación básica recorren un máximo de 15 kms.

Paralelamente se hizo distinción de los establecimientos correspondientes a internados, para los cuales se impuso la posibilidad de viajar hasta 100 kms. entre el punto de origen-hogar y el lugar de destino-establecimiento.

## 4.2 Análisis de la Oferta

La segunda componente principal del estudio son los establecimientos educacionales, que corresponden a la oferta del modelo. Para estudiarlos se definieron aspectos clave que es necesario analizar:

1. Localización de establecimientos
2. Tipo de establecimientos
3. Capacidad de los establecimientos
4. Costos de construcción, ampliación y reposición
5. Costos de operación
6. Costos de transporte
7. Modelamiento de la calidad

### 4.2.1 Localización de los Establecimientos

En los registros del MINEDUC existen 9.634 establecimientos a nivel nacional con matrícula mayor que cero en el año 2009(38) en tipos de enseñanza relevantes para este estudio. Dichos tipos de enseñanza corresponden a educación tradicional de niños desde

primero básico hasta octavo básico y educación de niños científico-humanista o técnica profesional desde primero medio hasta cuarto medio (ver detalle en Tabla 5).

**TABLA 5: TIPOS DE ENSEÑANZA RELEVANTES<sup>11</sup>**

<b>COD_ENSEÑANZA</b>	<b>GLOSA_ENSEÑANZA</b>
110	Enseñanza Básica
310	Enseñanza Media Humanista-Científica niños y jóvenes
410	Enseñanza Media Técnico-Profesional Comercial niños
510	Enseñanza Media Técnico-Profesional Industrial niños
610	Enseñanza Media Técnico-Profesional Técnica niños
710	Enseñanza Media Técnico-Profesional Agrícola niños
810	Enseñanza Media Técnico-Profesional Marítima niños

Para georeferenciar dichos establecimientos se cuenta con 4 bases de datos:

1. Base de Datos Georeferencia Regiones Relevantes (39)
2. Base de Datos Investigadores Universidad de Chile (34)
3. Base de Datos Mapcity-SIMCE (40)
4. Base de Datos Corporativa MINEDUC (41)

Se procedió a completar las coordenadas de los establecimientos priorizando la asignación según las bases que presumiblemente poseen coordenadas más confiables, en el mismo orden en que fueron nombradas anteriormente. Con esto, la composición de las coordenadas finalmente utilizadas se resume en la Tabla 6 (a nivel nacional).

En este caso resulta de principal interés estudiar las regiones V, VI, VII, VIII, IX y Metropolitana, pues fueron las regiones afectadas por el terremoto del Febrero de 2010. En la Tabla 7 se muestra la utilización de coordenadas para los establecimientos de estas regiones.

Tabla 6: Procedencia de Coordenadas de establecimientos relevantes a nivel Nacional

<b>Fuente Coordenadas</b>	<b>Cantidad de Establecimientos</b>
Base de Datos 1	6.723
Base de Datos 2	2.400
Base de Datos 3	360
Base de Datos 4	8
Google Maps	116
Sin Coordenadas	27
<b>Total</b>	<b>9.634</b>

<sup>11</sup> Glosa Códigos de Enseñanza, SIGE (37).

**TABLA 7: PROCEDENCIA DE COORDENADAS DE ESTABLECIMIENTOS RELEVANTES EN REGIONES DE INTERÉS**

<b>Fuente Coordenadas</b>	<b>Cantidad de Establecimientos</b>
Base de Datos 1	6.723
Base de Datos 2	18
Base de Datos 3	49
Base de Datos 4	2
Google Maps	46
<b>Total</b>	<b>6.838</b>

Fue necesario, para poseer coordenadas de todos los establecimientos relevantes en las regiones de interés, completarlas utilizando Google Maps (42). La estrategia fue buscar las coordenadas utilizando la dirección informada de dichos establecimientos. Sin embargo, estas coordenadas son meramente referenciales, porque muchas veces corresponden simplemente a las de la localidad general en la que se encuentran y en no pocas ocasiones las direcciones no cuentan con el nivel de detalle necesario para obtener una referencia específica.

#### **4.2.2 Tipos de Establecimientos**

Los establecimientos se agruparon en tipos dependiendo de su urbanidad y los grados ofrecidos. Con ello es posible modelar, entre otros aspectos, los costos de construcción y los costos de operación.

Los niveles considerados relevantes por tipo de enseñanza se resumen en la Tabla 8. En el caso de la enseñanza media la matrícula total de dichos grados fue calculada sumando la de cada uno de los tipos de enseñanza, tanto científico-humanista como técnico profesional.

Considerando una clasificación directa de los establecimientos en base a los grados donde tienen matrícula se obtiene más de 180 combinaciones posibles. Muchos de estos casos pueden corresponder a errores de datos o a establecimientos nuevos. Se decidió agruparlos en categorías, en base a los tipos con mayor cantidad de establecimientos (ver Anexo D: Clasificación de Establecimientos por Grado Impartido, Tabla 28, página 87).

**TABLA 8: CÓDIGOS DE ENSEÑANZA RELEVANTES POR NIVEL**

<b>Código Enseñanza</b>	<b>Código Grado</b>	<b>Descripción</b>
110	1	Primero Básico
	2	Segundo Básico
	3	Tercero Básico
	4	Cuarto Básico
	5	Quinto Básico
	6	Sexto Básico
	7	Séptimo Básico
	8	Octavo Básico

Código Enseñanza	Código Grado	Descripción
310 o 410 o 510 o 610 o 710 o 810	1	Primero Medio
	2	Segundo Medio
	3	Tercero Medio
	4	Cuarto Medio

Se decidió crear 5 grandes categorías:

- **B1-B8:** Establecimientos que imparten solo enseñanza básica, desde primero a octavo.
- **B1-B6:** Establecimientos que imparten solo enseñanza básica, desde primero a sexto.
- **M1-M4:** Establecimientos que imparten solo enseñanza media, desde primero a cuarto.
- **B7-M4:** Establecimientos que imparten cursos desde séptimo básico hasta cuarto medio.
- **B1-M4:** Establecimientos que imparten todos los grados, desde primero básico hasta cuarto medio.

Para clasificar los distintos establecimientos en cada uno de estos tipos se aplicó una estrategia de reglas secuenciales, partiendo de las más restrictivas para luego ir flexibilizando para clasificar la totalidad de los establecimientos en algún tipo. La secuencia fue la siguiente:

1. Todos los establecimientos que tengan matrícula en todos los cursos de la enseñanza básica y no tengan en enseñanza media se clasificarán del tipo B1-B8.
2. Todos los establecimientos que tengan matrícula en todos los grados relevantes (desde primero básico hasta cuarto medio) se clasificarán del tipo B1-M4.
3. Todos los establecimientos que no tengan matrícula desde séptimo básico hasta cuarto medio, y tengan matrícula en alguno de los grados desde primero a sexto básico se clasificarán del tipo B1-B6<sup>12</sup>.
4. Todos los establecimientos que no posean matrícula desde primero hasta octavo básico se clasificarán del tipo M1-M4.
5. Todos los establecimientos que no hayan sido clasificados previamente y que no tengan matrícula desde primero a sexto básico serán clasificados del tipo B7-M4.

<sup>12</sup> La razón de esta regla es que la mayoría de los establecimientos de dicho tipo corresponde a colegios rurales, los cuales en general poseen una matrícula pequeña (en promedio 20 alumnos), y no necesariamente en todos los grados de primero a sexto básico a pesar de que los ofrecen.



6. Todos los establecimientos que no hayan sido clasificados anteriormente y que no tengan matrícula de primero a cuarto medio serán clasificados como B1-B8.
7. El resto de los establecimientos será clasificado del tipo B1-M4.

La Tabla 9 muestra dichas reglas de manera resumida, además de la proporción total de establecimientos con matrícula relevante que fueron clasificados en cada uno de los pasos. Se puede observar que la gran mayoría de los establecimientos fueron abordados en las tres primeras reglas (el 88%), lo que indica que las categorías B1-B8, B1-M4 y B1-B6 describen el comportamiento de gran parte del sistema educativo (al menos en número de establecimientos).

En la Tabla 10 se muestra la cantidad de establecimientos y de estudiantes (matrícula de primero básico a cuarto medio 2009) correspondientes a cada tipo.

Si bien la proporción de establecimientos tipo B7-M4 no es alta (cercano al 1%) son establecimientos en promedio con una matrícula muy grande para la cantidad de grados que imparten. Ello se ve reflejado en que la proporción de estudiantes es similar a la del tipo B1-B6, quienes representan el 29,5% de los establecimientos, pero solo el 2,6% de los estudiantes.

**TABLA 9: REGLAS DE CLASIFICACIÓN POR TIPO SEGÚN GRADOS IMPARTIDOS**

TIPO	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	M1	M2	M3	M4	% Relevante Asignado
B1-B8	S	S	S	S	S	S	S	S	X	X	X	X	41%
B1-M4	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	17%
B1-B6	A	A	A	A	A	A	X	X	X	X	X	X	30%
M1-M4	X	X	X	X	X	X	X	X	A	A	A	A	8%
B7-M4	X	X	X	X	X	X	A	A	A	A	A	A	1%
B1-B8	A	A	A	A	A	A	A	A	X	X	X	X	2%
B1-M4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	2%

X	Sin cursos
S	Siempre con cursos
A	A veces con cursos

**TABLA 10: CANTIDAD Y PROPORCIÓN DE ESTUDIANTES Y ESTABLECIMIENTOS CLASIFICADOS EN CADA TIPO**

Tipo	Cantidad Establecimientos	% Establecimientos	Cantidad Estudiantes	% Estudiantes
B1-B6	2.845	29,5%	83.670	2,6%
B1-B8	4.101	42,6%	1.220.459	38,5%

Tipo	Cantidad Establecimientos	% Establecimientos	Cantidad Estudiantes	% Estudiantes
B1-M4	1.828	19,0%	1.294.121	40,9%
B7-M4	104	1,1%	79.182	2,5%
M1-M4	756	7,8%	489.177	15,4%

Estas clasificaciones se pueden descomponer en unidades mínimas, cuyas combinaciones representan todos los tipos de establecimientos. Estas son B1-B6, B7-B8 y M1-M4.

Estos rangos de niveles educacionales son los grados considerados para clasificar a los estudiantes, lo que reduce considerablemente la cantidad de variables del problema, que depende directamente de la cantidad de grados.

### 4.2.3 Capacidad de los Establecimientos

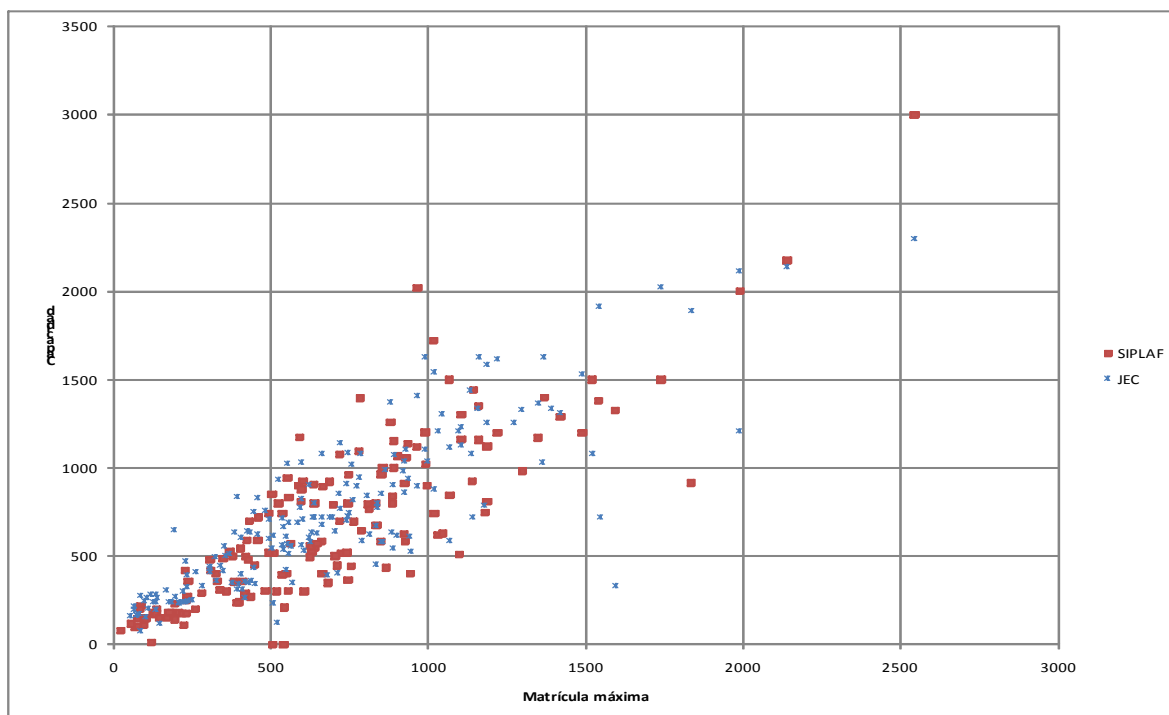
La capacidad de los establecimientos, entendida como la máxima cantidad de niños que puede atender el establecimiento en condiciones normales, es un dato particularmente crítico para el modelo. Conocer las capacidades de los establecimientos del sistema permite determinar las necesidades de infraestructura reales, contrastando esta capacidad con la demanda existente y la que se podría alcanzar en distintos escenarios.

Actualmente no existe una base de información certera y completa de la capacidad real de los establecimientos educacionales. Por ello fue necesario consolidar diferentes fuentes de información:

- *Proyectos de Infraestructura Jornada Escolar Completa (JEC)(43)*: información de los proyectos de infraestructura presentados por los establecimientos para incorporarse a la Jornada Escolar Completa entre el 2003 y 2010, los cuales indican la capacidad de diseño de los establecimientos (en términos de número de aulas y número de alumnos). Contiene información de 1.475 establecimientos a nivel nacional.
- *Inventario de Planta Física(44)*: El 2004 se hizo un levantamiento de la situación de infraestructura de los establecimientos a nivel nacional. Se cuenta con la información de superficie de los establecimientos, sin embargo, en términos de capacidad la información obtenida era bastante limitada. En total se obtuvo a partir de esta fuente la capacidad de 1.787 establecimientos a nivel nacional.
- *Matrícula Máxima (desde JEC)(38)*: la última fuente de información corresponde a la estimación realizada a partir de las matrículas históricas de los establecimientos. Este cálculo considera la matrícula máxima de los últimos 5 años o desde que el establecimiento fue incorporado a la JEC<sup>13</sup>.

<sup>13</sup> Muchos establecimientos modificaron su capacidad al incorporarse a la JEC.

La Ilustración 10 muestra la relación existente entre la capacidad entregada por infraestructura JEC, el Sistema de Información de Planta Física (SIPLAF) y la estimación en base a la matrícula máxima para aquellos establecimientos en que estaban los tres datos disponibles. Se observa que los datos se concentran en torno a la recta de la identidad, lo cual significa que los datos entregados por estas tres fuentes tienen un alto nivel de semejanza ( $R^2=70\%$ ).



**ILUSTRACIÓN 10: DATOS DIPLAF Y JEC VS. MATRÍCULA MÁXIMA**

Para estimar la capacidad efectiva de cada establecimiento, se optó por usar la cantidad máxima otorgada entre las tres fuentes de información. De esta manera se asegura que la capacidad estimada será coherente con las capacidades exhibidas por los establecimientos en los últimos años.

No obstante, en el caso de los establecimientos con matrícula menor a 30 alumnos, para efectos del modelamiento del sistema, se hizo el supuesto que la capacidad total corresponde a 30 alumnos. Esto pues en general corresponden a establecimientos con al menos una sala donde, se supone, se podrían concentrar esa cantidad de alumnos como máximo.

De esta manera, del total de 9.634 establecimientos considerados en el modelo, se tiene que la capacidad máxima de 638 establecimientos fue estimada en base a la información de la JEC, 620 en base a la del SIPLAF y 6.604 en base a la matrícula máxima.

#### **4.2.4 Costos de Construcción/Reconstrucción/Ampliación**

Para estimar los costos de construcción se analizaron tres fuentes de información: las inversiones de ampliación y construcción de establecimientos para la implementación de la

JEC(43), la sistematización de establecimientos con infraestructura innovadora(45), y las estimaciones de la Unidad de Inversiones para la reconstrucción de establecimientos. En base a ellas se realizaron tres estimaciones diferentes del costo por alumno de una construcción educativa, las cuales se detallan a continuación.

#### 4.2.4.1 Costos de Infraestructura JEC

La información analizada corresponde a una muestra de 517 establecimientos. De acuerdo a los datos, los costos de construcción dependen en gran medida de la superficie total del proyecto. Se tiene que en estos proyectos el costo promedio es de 6,4 UF/m<sup>2</sup> (costo del modelo obtenido a través de una regresión lineal).

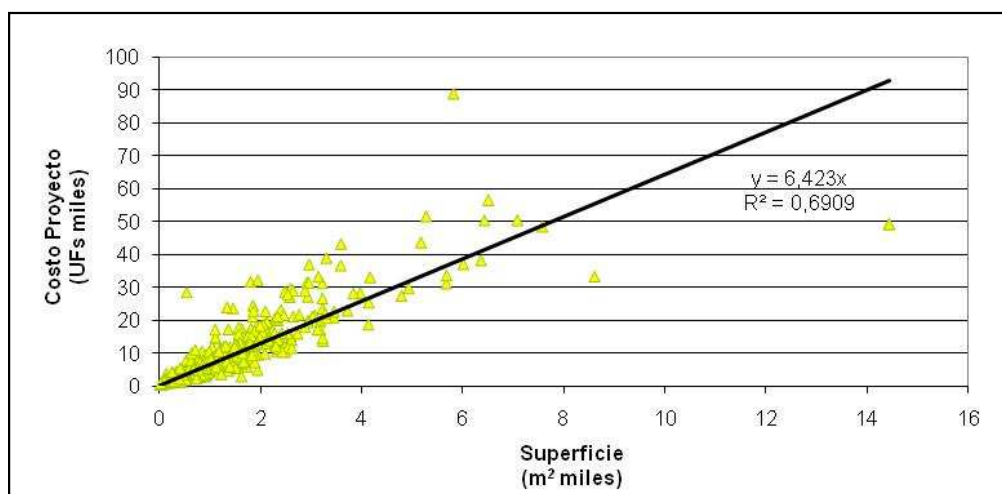


ILUSTRACIÓN 11: COSTO PROYECTOS DE INFRAESTRUCTURA VS. SUPERFICIE INTERVENIDA

En la Ilustración 11 se observa que los costos de construcción están correlacionados con la superficie del proyecto. Al compararla con la matrícula de alumnos, se encuentra que existe una correlación débil, siendo el estándar promedio de 5,2 m<sup>2</sup>/alumno (ver Ilustración 12). Con esto se obtiene una estimación de 33,28 UF/alumno.

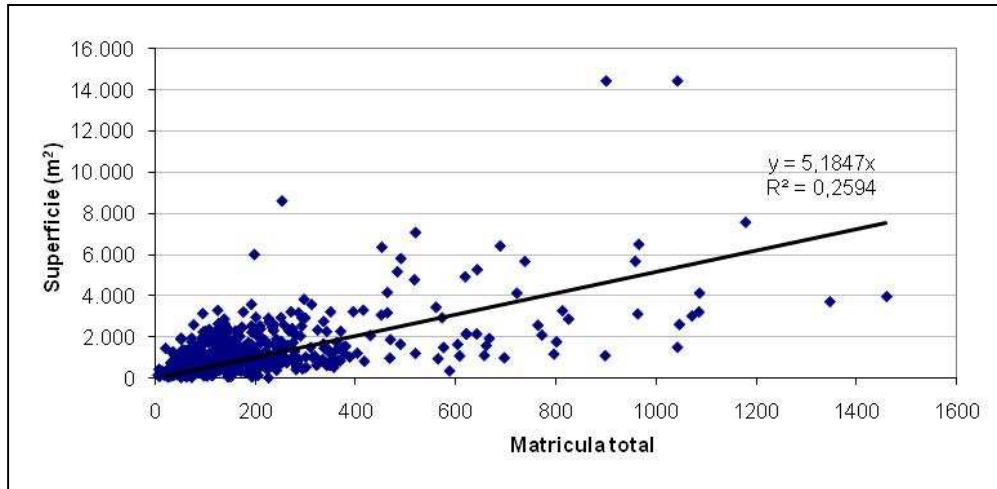


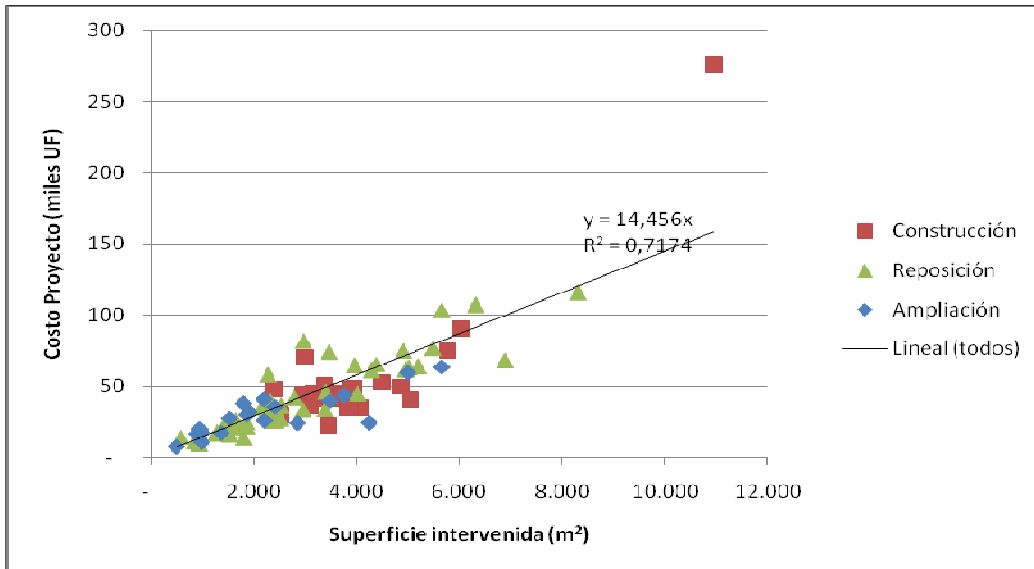
ILUSTRACIÓN 12: SUPERFICIE INTERVENIDA VS. NÚMERO DE ALUMNOS

#### 4.2.4.2 Costos de Infraestructura Escuelas Innovadoras

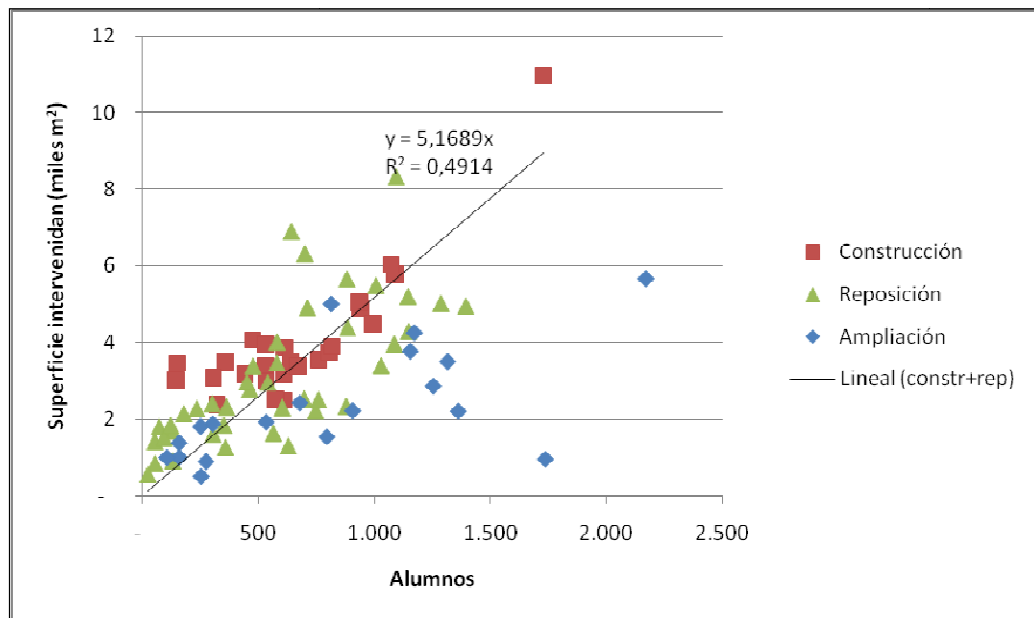
Las escuelas innovadoras son escuelas que han invertido en infraestructura con estándares superiores al promedio de los establecimientos, sin necesariamente incrementar considerablemente los costos de construcción. La muestra considera 85 establecimientos de todo el país construidos entre el 2001 y 2007(45).

Los resultados indican que, independiente del tipo de intervención, los costos por metro cuadrado son bastante parecidos (ver Ilustración 13).

Sin embargo, no existe una clara relación entre la cantidad de metros cuadrados intervenidos y la cantidad de alumnos (ver Ilustración 14). Al modelar esta relación para la construcción y reposición de infraestructura, se obtiene una mayor correlación. Probablemente se deba a que las construcciones y reposiciones han estado destinadas a la mayoría de la matrícula, mientras que las ampliaciones benefician a una parte de los alumnos, por lo que no existe un patrón con la totalidad de los alumnos del establecimiento.



**ILUSTRACIÓN 13: COSTO DE PROYECTOS INNOVADORES VS. SUPERFICIE INTERVENIDA**



**ILUSTRACIÓN 14: SUPERFICIE INTERVENIDA VS. MATRÍCULA DEL ESTABLECIMIENTO**

De esta manera, se tiene que los costos de construcción por alumno presentan en general una correlación baja, no obstante las intervenciones de reposición y construcción muestran un patrón similar, en torno a los 70 UF/alumno, mientras que las ampliaciones se concentran en torno a las 40 UF/alumno (ver Ilustración 15).

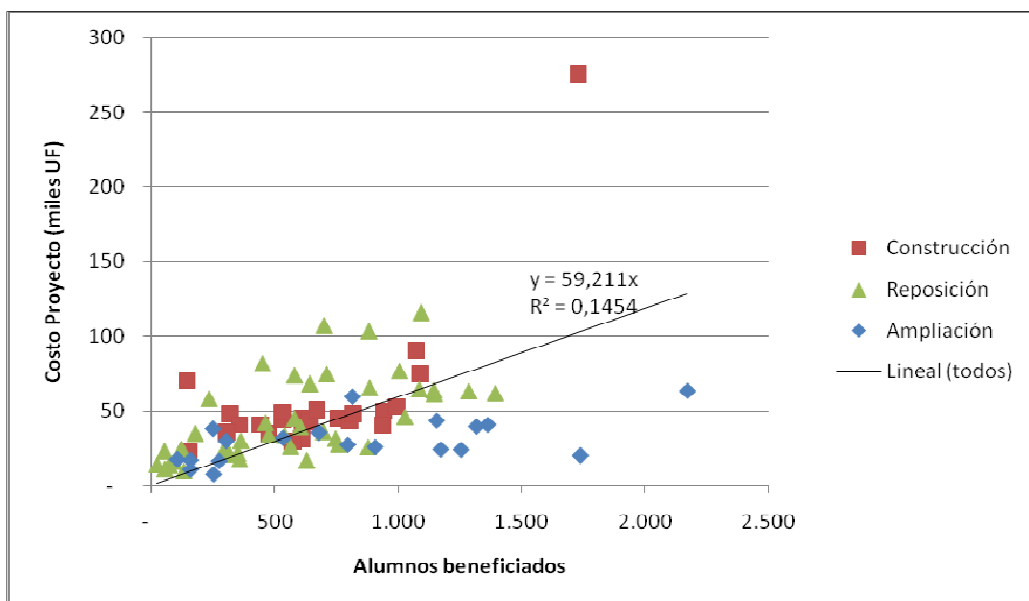


ILUSTRACIÓN 15: COSTO DEL PROYECTO VS. ALUMNOS BENEFICIADOS SEGÚN TIPO DE INTERVENCIÓN.

En la Tabla 11 se resumen las variables analizadas según el tipo de intervención.

TABLA 11: ESTÁNDARES DE CONSTRUCCIÓN SEGÚN TIPO DE INTERVENCIÓN EN ESTABLECIMIENTOS INNOVADORES.<sup>14</sup>

Tipo de intervención	N° Establecimientos	UF/m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup> /al*	UF/alumno
Ampliación	19	14	4,6	40
Construcción	25	13	5,3	75
Reposición	41	14	5,5	75
Total general	85			

#### 4.2.4.3 Estimaciones Reconstrucción MINEDUC

Además, las unidades de Infraestructura e Inversiones del MINEDUC realizaron una estimación de los costos de la reconstrucción, mediante juicio experto, según el nivel de daños que ha sufrido el establecimiento. En la Tabla 12 se resumen dichas estimaciones.

TABLA 12: COSTOS DE RECONSTRUCCIÓN ESTIMADOS POR MINEDUC SEGÚN NIVEL DE DAÑOS.

Nivel de Daños	UF/alumno
Daños Leves	2
Daños Moderados	10
Daños Severos	18
Reposición	26

<sup>14</sup> Considera los m2 de todo el establecimiento (intervenidos y no intervenidos), para reflejar el estándar del establecimiento completo.

Como se puede observar de estas estimaciones, los costos de construcción dependen bastante del proyecto que se desarrolle y las características del establecimiento. En este caso se utilizarán las estimaciones de Reposición del MINEDUC, que es el 26 UF/alumno, debido a que corresponden a las cifras oficiales utilizadas en la reconstrucción. Sin embargo, el modelo permite considerar valores distintos para cada establecimiento dentro de la red analizada. Para llevar esta inversión total a costo anual se utilizó el Costo Anual Equivalente(46), con una tasa de descuento de 6%, que corresponde a la tasa de descuento social utilizada por MIDEPLAN, en un horizonte de 20 años. Por tanto, el Costo Anual Equivalente en este caso se calcula con la siguiente fórmula:

$$C = VA * \left[ \frac{r * (1 + r)^N}{(1 + r)^N - 1} \right] = 26 * \left[ \frac{0,06 * (1 + 0,06)^{20}}{(1 + 0,06)^{20} - 1} \right] = 26 * 0,087 \left[ \frac{UF}{al * año} \right]$$

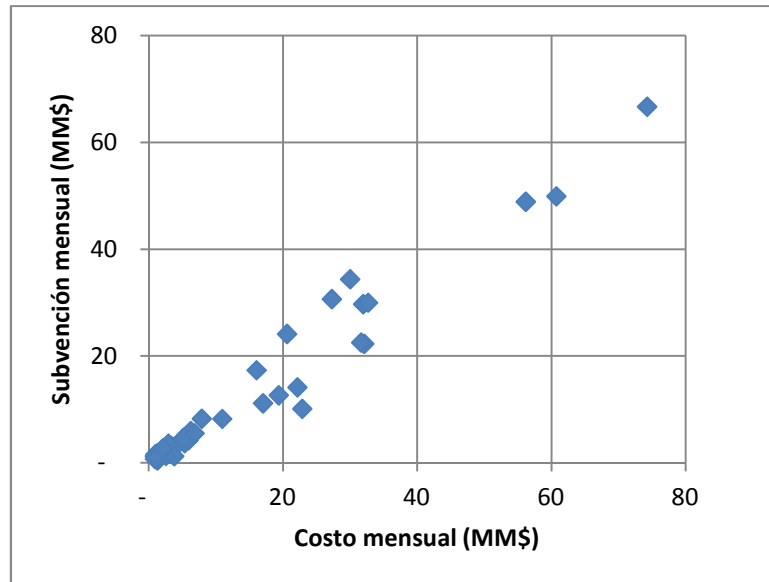
#### 4.2.5 Costos de Operación

Para estimar los costos de operación se utiliza la información de los montos de las subvenciones que reciben los establecimientos. Se realiza para ello el supuesto de que los costos de operación de los establecimientos equivalen a los ingresos que estos perciben, específicamente a la subvención total recibida del Ministerio de Educación. Esto es cierto en el caso de los establecimientos municipales en donde los ingresos captados por concepto de matrículas y transferencias de los municipios serían mínimos. Sin embargo, no sería efectivo en el caso de los establecimientos particulares subvencionados, dado que los ingresos por matrículas y mensualidades tendrían un peso no despreciable dentro de su presupuesto. No obstante, para efectos de este modelo, se requiere estimar el costo social que significa el funcionamiento del establecimiento, por lo que es posible extrapolar el patrón de los costos operacionales de los establecimientos municipales en función del número de alumnos a los particulares subvencionados.

Para esta estimación se cuenta con información de subvenciones de la IX Región y de los costos de operación de las comunas de Lautaro y Gorbea.

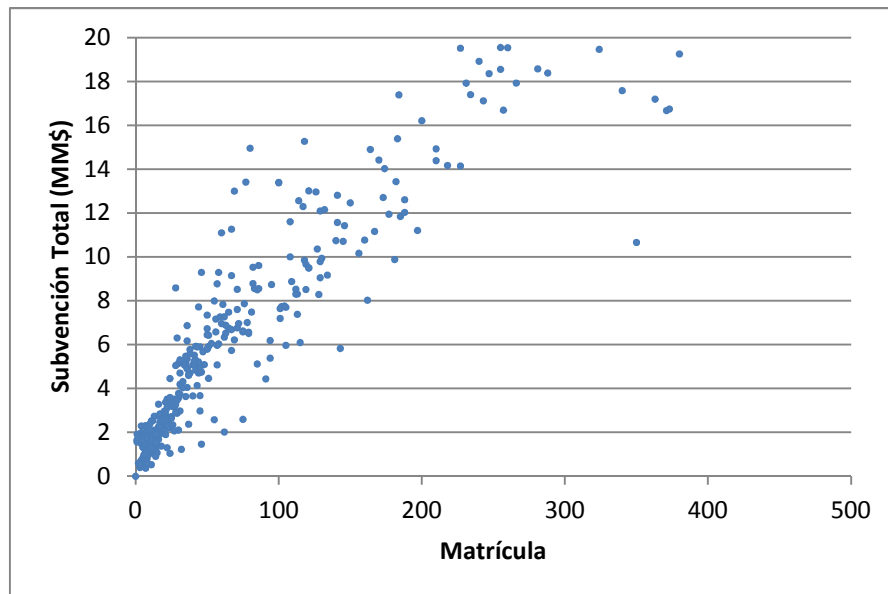
La Ilustración 16 muestra la relación existente entre los costos de operación y la subvención recibida para los establecimientos de estas comunas. Se observa que el nivel de ajuste es un muy alto ( $R^2=96\%$ ), lo que muestra que los costos de operación se correlacionan fuertemente con el ingreso recibido por las subvenciones, confirmando la hipótesis anterior.





**ILUSTRACIÓN 16: COSTOS DE OPERACIÓN VS. SUBVENCIÓN ESCOLAR RECIBIDA**

Ahora, al analizar las subvenciones en función del número de alumnos de los establecimientos (ver Ilustración 17) se observa, como era de esperar, que existe una relación lineal bastante clara ( $R^2=94\%$ ). Los establecimientos urbanos tendrían un costo promedio de 66.000 pesos mensuales por alumno, mientras que los rurales, 84.000 pesos por alumno. Sin embargo, es interesante observar que para los establecimientos con matrícula menor a 13 alumnos los costos de operación no varían en función del número de alumnos, manteniéndose fijos en torno a los 2.000.000 de pesos mensuales (ver Ilustración 18). Esto es bastante lógico si se considera que el principal costo de operación lo constituye el sueldo de los profesores, por lo que para establecimientos unidocentes, el costo marginal de agregar un alumno más sería despreciable.



**ILUSTRACIÓN 17: SUBVENCIÓN TOTAL VS. NÚMERO DE ALUMNOS POR ESTABLECIMIENTO**

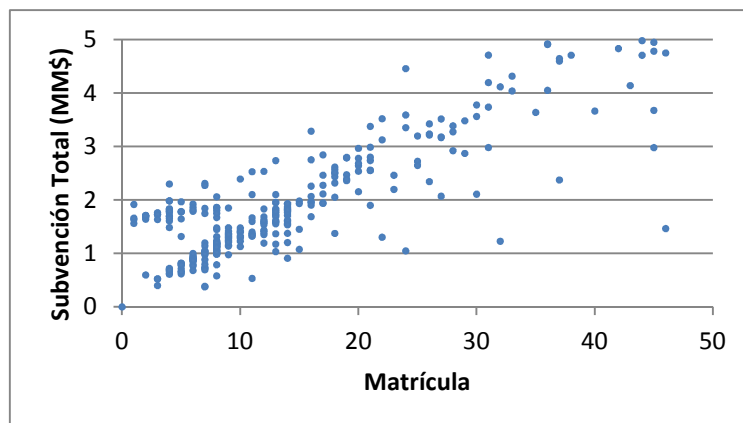


ILUSTRACIÓN 18: SUBVENCIÓN TOTAL VS. NÚMERO DE ALUMNOS (MATRÍCULA MENOR A 50)

Para ver el efecto del tipo de establecimiento en los costos de operación fue analizada la subvención entregada por el MINEDUC en función del tipo de establecimiento y del tipo de zona (urbano, rural). La Tabla 13 muestra los promedios obtenidos.

TABLA 13: SUBVENCIÓN POR ALUMNO PROMEDIO SEGÚN TIPO DE ESTABLECIMIENTO Y TIPO DE ZONA<sup>15</sup>

Tipo	Costo/alumno		N° establecimientos	
	Rural	Urbano	Rural	Urbano
B1-B6	80.777	57.837	2.370	244
B1-B8	74.160	47.690	1.323	2.361
B1-M4	53.162	45.822	66	1.247
B7-M4	61.548	54.269	4	70
M1-M4	70.942	60.616	18	462
<b>Total</b>	<b>77.913</b>	<b>49.191</b>	<b>3.782</b>	<b>4.384</b>

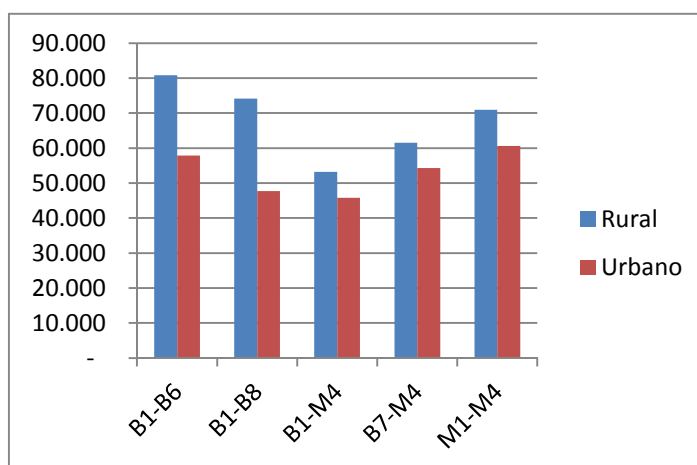


ILUSTRACIÓN 19: SUBVENCIÓN POR ALUMNO PROMEDIO SEGÚN TIPO DE ESTABLECIMIENTO Y TIPO DE ZONA

<sup>15</sup> Estimaciones en base a pagos por RBD según proceso normal de octubre 2010

La Ilustración 19 muestra que para todos los tipos de establecimientos, los establecimientos rurales tienen en promedio un costo de operación más alto que los urbanos. Esta diferencia alcanza incluso los \$26.470 mensuales para los establecimientos de primero a octavo básico. En el resto de los tipos la diferencia promedio es de \$8.315 mensuales. Se observa también que los establecimientos con cursos de primero básico a cuarto medio son los que tienen los costos operacionales más bajos tanto en las zonas rurales como en las urbanas. Estos costos aumentan en la medida que el tipo de establecimiento tiene menos cursos.

Estos resultados darían cuenta de economías de escala que se producen en las escuelas en la medida que cubren una mayor cantidad de cursos y atienden una mayor cantidad de alumnos(2), lo que explica que las escuelas de primero a sexto básico rurales tengan mayores costos y las de primero básico a cuarto medio urbanas los más bajos.

Por tanto, los costos operacionales estimados finalmente para establecimientos con menos de 13 alumnos corresponde al Costo Fijo (CF) de \$24.581.676 pesos anuales. Y para establecimientos con más de 13 alumnos los costos operacionales totales se estiman por:

$$CO = CF + 12 * CV_{tu}(matricula - 13)$$

Donde  $CV_{tu}$  corresponde al Costo Variable según tipo y urbanidad estimado en la Tabla 13. Con ello se obtiene una estimación de los costos operacionales anuales que posee un establecimiento.

#### **4.2.6 Costos de Transporte**

El costo de transporte se entiende como el valor en términos monetarios y subjetivos de transportarse una determinada distancia. De acuerdo a Chumacero et al., 2008 (37), un apoderado de educación escolar en la ciudad de Santiago estaría dispuesto a pagar \$100.000 anuales de arancel adicionales para que su pupilo viaje un kilómetro menos (en establecimientos de desempeño similar). Bajo el supuesto de que un apoderado valora de igual forma ahorrar \$100.000 en arancel que en costo de viaje, se obtiene un estimador para esta variable. Esta estimación está hecha en base a estudiantes de Santiago, donde las distancias recorridas son menores a las habituales en las zonas rurales, por lo que para estas la cifra de disposición a pagar puede ser menor. Sin embargo, en las zonas rurales existe menor disponibilidad de transporte público, por lo que no es claro este valor. Dado que no se posee información adicional, este estimador será utilizado independiente de la urbanidad y del grado al cual asisten los estudiantes.

#### **4.2.7 Modelamiento del Desempeño Educativo o Calidad**

Para modelar el desempeño educativo se construye un indicador de gestión a partir del Sistema de Medición de la Calidad de la Educación (SIMCE). La principal razón para usar el SIMCE como base es que considera una escala única y comparable para todos los establecimientos. Sin embargo, existen estudios que hablan de la alta correlación de estos resultados con el grupo socio económico (GSE) del establecimiento evaluado(47). Para corregir este efecto se agruparon los establecimientos y se estandarizaron los puntajes al interior de cada grupo, ajustando por promedio y desviación estándar de cada uno de ellos,

llevando los puntajes SIMCE a una escala única comparable. De esta forma, el puntaje refleja cuál es el desempeño del establecimiento con respecto a los otros con contextos socioeconómicos similares, evaluando el valor agregado entregado al alumno por el establecimiento independiente de sus condiciones socioeconómicas.

En cada nivel (4° básico, 8° básico y 2° medio) se calcula un puntaje promedio del SIMCE en base a las pruebas de lenguaje y matemática. Se consideraron los puntajes de las dos últimas pruebas rendidas en cada nivel, ya que los puntajes pueden variar año a año debido al rendimiento de una generación particular, por lo que el promedio es un mejor indicador del desempeño del establecimiento.

Por tanto, se estandarizó el puntaje promedio de cada establecimiento para cada año, cada nivel y cada grupo socioeconómico, calculando el indicador:

$$Z_{ijk} = \frac{x_{ijk} - \mu_{n(i,j,k)jk}}{\sigma_{n(i,j,k)jk}}$$

Este corresponde al puntaje estándar del establecimiento  $i$  en el nivel  $j$  en el año  $k$ , cuyo grupo socioeconómico  $n(i, j, k)$  es una función bien definida.

A modo de referencia, en la Tabla 14 se muestran la cantidad de establecimientos, los promedios y desviaciones estándar de la última prueba SIMCE por nivel.

**TABLA 14: PROMEDIO, D. ESTÁNDAR Y CANTIDAD DE ESTABLECIMIENTOS PRUEBA SIMCE**

SIMCE		GSE				
		A	B	C	D	E
Cuarto Básico 2009	Promedio	233,6	240,3	256,5	278,6	292,5
	Desviación Estándar	24,3	21,2	20,2	18,0	13,8
	Establecimientos	1.065	1.936	1.424	699	22
Octavo Básico 2009	Promedio	233,0	237,1	253,8	276,1	298,9
	Desviación Estándar	19,0	17,0	19,8	21,5	13,8
	Establecimientos	1.151	1.746	1.255	724	38
Segundo Medio 2008	Promedio	215,6	237,1	253,8	276,1	298,9
	Desviación Estándar	14,9	17,0	19,8	21,5	13,8
	Establecimientos	463	664	565	428	30

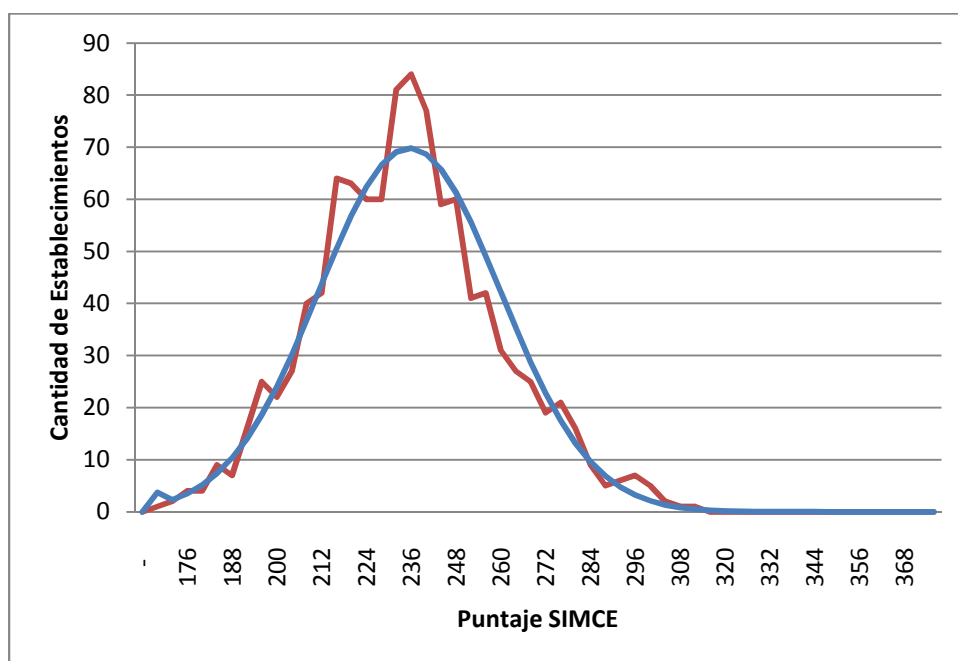
Posteriormente se calcula un puntaje estándar promedio para todos los años y todos los niveles. Para esto, en cada nivel se obtuvo el promedio aritmético de los puntajes de los distintos años: 2009 y 2008 para cuarto básico, 2009 y 2007 para octavo básico, y 2008 y 2006 para segundo medio. En caso que un establecimiento no poseyera puntaje en un año, se dejó el puntaje del año en que sí tenía disponible. Con esto se obtiene un indicador para cada nivel de la prueba. Se supuso que la prueba de cuarto básico es la que mejor representa el comportamiento del nivel B1-B6, la de octavo básico al nivel B7-B8 y la de segundo medio al nivel M1-M4.

Con ello, es posible que dos establecimientos tengan el mismo puntaje estandarizado, pero que tengan distintos puntajes SIMCE, lo cual significa que a pesar que ambos tienen desempeños “absolutos” distintos, tienen desempeños “relativos” similares.

Esta metodología se basa en el supuesto que la distribución de los puntajes finales corresponde a una distribución normal estándar, para lo cual es necesario que los puntajes de los distintos niveles, años y grupos socioeconómicos exhiban una distribución normal.

Para verificar esto se aplicó el test de Kolmogorov-Smirnov que verifica la semejanza de la distribución de una distribución normal, comprobando que, con un 95% de confianza, es cierto para la mayoría de los niveles, a excepción del GSE E<sup>16</sup>.

La Ilustración 20 muestra la distribución de los puntajes para los establecimientos del grupo socioeconómico A (el más vulnerable) en la prueba SIMCE de cuarto básico de 2009.



**ILUSTRACIÓN 20: DISTRIBUCIÓN DEL PUNTAJE SIMCE DE CUARTO BÁSICO 2009 Y DISTRIBUCIÓN NORMAL CON MEJOR AJUSTE**

Con esto se obtiene un indicador de calidad para los establecimientos que tienen puntaje SIMCE. Para el resto de los establecimientos se intentó realizar una aproximación con el índice SNED(48), pero dicho indicador no es comparable con establecimientos de distintos GSE. Por tanto se consideró que tenían el puntaje promedio, o sea un factor de calidad cero.

Para introducirlo en la función objetivo de manera coherente es necesario estimar este factor en pesos anuales, correspondiente al valor que asigna la sociedad a asistir a un

<sup>16</sup> Debido en parte a la poca cantidad de registros con las que se contaba para establecimientos municipales y particulares subvencionados

establecimiento que entrega mayor calidad. De acuerdo a Chumacero et al., 2008(37), los apoderados de la ciudad de Santiago están dispuestos a viajar 1 km. adicional para asistir a un establecimiento con 7 puntos más en el SIMCE. Esta misma investigación encontró que los apoderados valoraban en \$100.000 anuales viajar un kilómetro. En base a estos resultados se estimó que los apoderados valoran en  $100.000 [$/km] \div 7 [km/pt] = 14.286 [$/pt]$  anuales obtener un punto más en el SIMCE.

Un método alternativo de corrección por GSE es calcular la posición en percentiles, en el conglomerado de establecimientos similares. Sin embargo este método no mide la posición relativa, o sea la distancia normalizada con respecto al promedio. Por tanto la metodología de estandarización propuesta es más justa con los que se esfuerzan por destacar donde es difícil diferenciarse, o sea en GSE donde es difícil alejarse de los resultados promedio.

## 5 SUPUESTOS Y LIMITACIONES

Es claro que al modelar una realidad compleja, como lo es el sistema escolar en Chile, es imposible incluir, e incluso modelar matemáticamente, todos los factores que influyen en ella. Tanto el modelo matemático como la estimación de parámetros tienen supuestos que se deben tener en cuenta a la hora de analizar los resultados.

Una limitación importante consiste en la estimación de la demanda. La localización de los puntos de demanda relevantes fue levantada en base al CENSO 2002, lo cual impide analizar apariciones de nuevos puntos de demanda desde ese año a la fecha. Si bien se realizaron ajustes de proyecciones demográficas, éstos no consideran las migraciones inter comunales, pues los niveles de agregación de dichas estimaciones no lo permiten. El supuesto de relacionar directamente edad con grado al que asiste, si bien es razonable, es bastante fuerte.

Los grados académicos, tanto para la caracterización de los estudiantes como para la de los establecimientos, fueron agrupados. Esto determina que los tipos de establecimientos, en términos de los grados ofrecidos, sean discretos. Si bien la Ley General de Educación (5) propone una clasificación en ese sentido, esta proposición aun se encuentra en período de transición, por lo que en la práctica la combinación de grados ofrecidos puede ser más amplia que la aquí expuesta. En la sección Anexo D: Clasificación de Establecimientos por Grado Impartido (Anexos, página 87) se puede observar esta diversidad.

El modelamiento propuesto considera relevantes para la asignación de los estudiantes a los establecimientos tanto la distancia como la calidad educativa. Si bien éstos son dos de los factores principales, la elección de un establecimiento por parte de los apoderados es mucho más compleja; muchas veces se consideran factores como los valores de formación, el sentido de pertenencia, infraestructura, y otros (ver Ilustración 8). En relación a lo anterior, el modelo no considera los impactos que tiene para las comunidades la decisión de re-construir los establecimientos locales. Uno de los principales factores ignorado en este caso, es el costo en el que debe incurrir la familia en el establecimiento, como el copago. Este factor no pudo ser considerado por falta de información. Sin embargo, los

establecimientos subvencionados deben ofrecer una cierta proporción de becas de exención de dichos pagos (7) por lo que en términos estrictos es posible que, al menos un cierto número de estudiantes, ingrese a un establecimiento aunque no lo pueda pagar.

Si bien la forma de modelar la calidad educativa de los establecimientos a través de los puntajes estandarizados permite corregir el efecto del nivel socioeconómico al parametrizar el rendimiento de cada establecimiento en relación a los que enfrentan el mismo entorno, se debe tener cuidado con la comparación de puntajes entre grupos socioeconómicos distintos, pues no es directo decir que estar a cierta distancia con respecto al cero en alguno de ellos es lo mismo que en otro ya que, aún cuando estén normalizados, hay consideraciones sociales que se deben tener en cuenta como, por ejemplo el hecho que parece ser más valorable estar sobre la media en GSE bajos que en niveles altos.

Así también, el modelo tampoco considera el efecto de la selección académica por lo que, dentro de un mismo grupo socioeconómico, los establecimientos que seleccionan alumnos en base a su rendimiento académico mostrarán puntajes más altos que aquellos que no lo hacen y/o que cuentan con programas de integración. Si bien no se contaba con la información, es posible incluir una corrección del factor de calidad estimado evaluando el impacto que tiene la selección sobre el puntaje SIMCE.

Los costos, tanto de construcción como de operación, fueron modelados linealmente con respecto a la cantidad de alumnos, lo que permite una resolución rápida al disminuir la cantidad de variables enteras (solo se mantienen las binarias de costos fijos). Sin embargo, es razonable pensar que estos costos son discretos (no es posible construir un tercio de sala o contratar medio profesor). Esto determina que los costos indicados en el modelo correspondan a una referencia. Aunque la estimación de estos costos haya sido realizada en términos generales, el modelo matemático permite considerar valores distintos para costos fijos y variables dependiendo de cada establecimiento, lo que determina una mejor estimación de estos.

No se obtuvo información específica sobre el comportamiento de los costos de transporte en el ámbito rural, los cuales pueden diferir bastante de los urbanos. Tampoco se obtuvo información sobre la variación de los costos de transporte con respecto a la edad, pues es razonable pensar que así como la distancia de viaje varía con respecto a ella, los costos también lo hagan. El MINEDUC ha planteado la idea de incluir transporte subvencionado, con lo cual se relaja la restricción de distancia de viaje máximo y se entrega un grado de libertad adicional, permitiendo una posible red que entregue un servicio con mayor eficiencia. Sin embargo, las particularidades de este servicio no están claras aún.

Finalmente, si bien la exclusión de los establecimientos particulares pagados fue compensada con la de los estudiantes de nivel socio económico alto, estos establecimientos tienen una interacción presumiblemente baja con los otros establecimientos, pues forman parte del sistema educativo de libre elección imperante en Chile. Además, la educación prebásica cada vez toma mayor importancia, y si bien el modelo permite perfectamente incluir estos niveles de enseñanza, no fue realizado por falta de datos.

## 6 IMPLEMENTACIÓN

El modelo fue programado en GAMS versión 23.0.2 y resuelto utilizando CPLEX. Para su utilización por los agentes interesados se diseñó una interfaz en Microsoft Excel 2007 que permite modificar algunos parámetros del modelo de manera simple. En la Ilustración 21 se muestra la pantalla inicial de dicha interfaz de ejecución. Ella entrega reportes con resultados numéricos en hojas de cálculo además de mapas en formato ArcGis 9.3.

**Parámetros:**

	Unidad de Medida	Valor
Alfa	>= 0,00	1,00
Beta Construcción	<= 0,00	-1,00
Beta Operación	<= 0,00	-1,00
Beta Transporte	<= 0,00	-1,00

		Urbano	Rural	Internado
Distancia máxima B1-B6	metros	3.000	10.000	50.000
Distancia máxima B7-B8	metros	3.000	10.000	100.000
Distancia máxima M1-M4	metros	6.000	30.000	100.000

		Urbano	Rural
Costo Transporte	\$/alumno/km anual	100.000	100.000
Costos Construcción	\$/alumno	572.000	572.000
Costo Operacional B1-B6	\$/alumno anuales	694.041	969.324
Costo Operacional B1-B8	\$/alumno anuales	572.279	889.923
Costo Operacional B1-M4	\$/alumno anuales	549.868	637.941
Costo Operacional B7-M4	\$/alumno anuales	651.228	738.576
Costo Operacional M1-M4	\$/alumno anuales	727.386	851.309

	Unidad de Medida	Valor
Base Costo Fijo Operacional	alumnos	13
Presupuesto Construcción	\$	INF
Presupuesto Operación	\$	INF

ILUSTRACIÓN 21: PANTALLA INICIAL INTERFAZ

El modelo fue resuelto utilizando un equipo LENOVO, con procesador Dual-Core T4200 2.0 GHz y 2 Gb de memoria RAM, obteniendo tiempos de resolución en general no superiores a 10 minutos, tiempo que incluye la generación de archivos input del modelo, la resolución del modelo y la generación de reportes, resolviendo una comuna con sus adyacentes. Esto permite que el modelo sea utilizado dinámicamente en las conversaciones entre agentes, pudiendo adecuarlo a los requerimientos particulares sin necesidad de contar con conocimiento experto en modelos matemáticos.

## 7 RESULTADOS

A continuación se presenta un análisis de 28 establecimientos que han sido informados preliminarmente como candidatos al plan de reposición por las autoridades locales, abarcando desde la VI a la IX regiones, incluyendo la Metropolitana.

Estos análisis fueron realizados para ser utilizados en las visitas a terreno que hace el MINEDUC, de tal manera que en conjunto con consideraciones locales, se decida la mejor solución para el sistema escolar.

A continuación se presenta una descripción general de dichos establecimientos.



TABLA 15: ESTABLECIMIENTOS ANALIZADOS

Id	Matrícula <sup>17</sup>	Dependencia	Ruralidad	Calidad	Tipo Grados	GSE <sup>18</sup>
1	546	Municipal DAEM	Urbano	0,00	M1-M4	
2	528	Particular Subv.	Urbano	-10,75	B1-M4	D
3	326	Particular Subv.	Urbano	-15,33	M1-M4	B
4	330	Municipal DAEM	Urbano	0,39	B7-M4	B/A
5	9	Municipal DAEM	Rural	0,00	B1-B6	B
6	9	Municipal DAEM	Rural	0,00	B1-B6	B
7	1173	Corporación Municipal	Urbano	-24,83	M1-M4	B
8	791	Municipal DAEM	Urbano	25,67	M1-M4	B
9	1203	Municipal DAEM	Urbano	-7,57	B1-M4	B
10	391	Particular Subv.	Urbano	6,82	B1-M4	D
11	59	Municipal DAEM	Rural	19,50	B1-B8	B/A
12	219	Municipal DAEM	Urbano	-18,51	B1-B8	B
13	590	Particular Subv.	Urbano	25,68	B1-B8	C/D
14	649	Particular Subv.	Urbano	5,64	B1-M4	D
15	1600	Particular Subv.	Urbano	0,17	B1-M4	C
16	809	Particular Subv.	Urbano	31,19	B1-M4	D
17	610	Particular Subv.	Urbano	9,21	B1-B8	C
18	234	Municipal DAEM	Urbano	-11,82	B1-B8	B
19	357	Particular Subv.	Urbano	21,05	B1-B8	C
20	669	Municipal DAEM	Urbano	16,03	B1-B8	B
21	32	Municipal DAEM	Rural	0,00	B1-B6	A
22	22	Municipal DAEM	Rural	0,00	B1-B6	B
23	66	Municipal DAEM	Rural	-13,65	B1-B8	A
24	268	Corporación Municipal	Rural	17,80	B1-B8	C
25	193	Corporación Municipal	Rural	2,02	B1-B8	B
26	1356	Municipal DAEM	Urbano	-28,73	B1-B8	B
27	20	Corporación Municipal	Rural	-62,50	B1-B6	A
28	387	Municipal DAEM	Urbano	10,28	B1-B8	B/A

A partir del modelo descrito se construyeron escenarios que reflejan circunstancias a analizar relevantes desde el punto de vista del MINEDUC, específicamente, desde el punto de vista de los efectos en el sistema educacional de las siguientes variables:

1. **Beneficio de asignación eficiente:** se analiza al beneficio de modificar la distribución de los estudiantes a nuevos establecimientos.

<sup>17</sup> De primero básico a cuarto medio tradicional

<sup>18</sup> Grupo Socio Económico SIMCE 2009 (2008 para segundo medio). Puede tener dos GSE pues pueden diferir por nivel de prueba SIMCE.

2. **Efecto del terremoto:** se analizó el efecto de optimizar la reconstrucción del terremoto en el sistema educativo. Este efecto se analiza sobre la opción de reconstruir todos los establecimientos de la misma forma que estaban previos al terremoto.
3. **Beneficio de la calidad:** la definición y medición de la calidad son temas controvertidos y su incorporación en el modelamiento constituye una de las principales innovaciones de este modelo, por lo que se analizó el efecto de incorporar esta variable en el modelamiento del sistema.

La Tabla 16 muestra los escenarios generados en base a estas variables. Adicionalmente a ellos se incluyó un escenario que intenta reproducir la situación actual (escenario A). Dicho escenario fue construido fijando todos los establecimientos, o sea, manteniendo su matrícula 2009.

**TABLA 16: ESCENARIOS SEGÚN VARIABLES CONSIDERADAS**

	Fijos	Sin Calidad	Con Calidad
<b>Sin Terremoto (base)</b>	A	B	BC
<b>Con Terremoto</b>	-	T	TC

En los escenarios sin terremoto no se minimiza el costo de construcción ( $\beta_{cons} = 0$ ) y en los sin calidad no se maximiza dicho factor ( $\beta_{calidad} = 0$ ). En todos los escenarios  $\rho = 10^7$ , que corresponde a la penalización por no asignar un estudiante o por diferir de la matrícula en caso de establecimientos fijos. En este análisis específico, al considerar una variable dentro de la función objetivo el ponderador asociado a ella toma el valor unitario.

Estos escenarios se aplicaron sobre zonas geográficas donde se emplazan los establecimientos afectados. Para construir estas zonas se tomaron como base las comunas donde pertenecen los establecimientos damnificados, las cuales se unieron a las comunas adyacentes, de manera de considerar los viajes entre comunas producidos por alumnos que eligen establecimientos fuera de su propia comuna. Cuando las zonas geográficas de dos o más establecimientos se sobreponían o se encontraban cercanas, estas fueron unidas en una sola zona geográfica<sup>19</sup>. De esta manera, resultaron ocho zonas geográficas sobre las cuales se aplicaron los escenarios descritos. La Tabla 17 muestra la cantidad de comunas, establecimientos analizados (candidatos a reconstrucción) y cantidad total de establecimientos en cada zona.

<sup>19</sup> La IX Región se dividió en dos zonas que se intersectan debido a que el problema resultante al unir las en una sola zona no pudo ser resuelto por el computador por falta de capacidad. Esto se explica porque la IX Región es la que tiene la mayor proporción de población rural, por lo que la cantidad de nodos de demanda y oferta hacen crecer exponencialmente el tamaño del problema.

**TABLA 17: ZONAS GEOGRÁFICAS ANALIZADAS**

Zona Geográfica	N° Comunas	Establecimientos Candidatos	Cantidad Total de Establecimientos
VI	33	7	541
VII	30	8	741
VIII	20	4	548
IX.1	19	3	749
IX.2	15	2 <sup>20</sup>	721
XIII.1	3	2	140
XIII.2	8	2	249
XIII.3	9	1	351

El modelo fue resuelto para cada escenario y zona geográfica. La Tabla 18 muestra los indicadores agregados de la resolución de los escenarios. En ella se observa que, en términos de cobertura, el modelo asignó al 98,96% de los alumnos de las zonas analizadas. La mayoría de los alumnos no asignados corresponden a alumnos de educación media de zonas rurales, donde no existen establecimientos dentro de las distancias permitidas. La pequeña variación en el escenario A se debe a que, por restricción, ningún establecimiento puede tener más estudiantes que la matrícula 2009 (todos los establecimientos están fijos), por lo que se tiene menor holgura para realizar la asignación pues no se puede utilizar la capacidad ociosa.

**TABLA 18: INDICADORES DE CALIDAD, EFICIENCIA Y COBERTURA POR ESCENARIO**

	A	B	BC	T	TC
<b>Candidatos</b>	28	28	28	28	28
<b>Candidatos Reconstruidos</b>	27	23	23	8	11
<b>Candidatos Reconstruidos (%)</b>	96%	82%	82%	29%	39%
<b>Establecimientos Escenario</b>	4.040	4.040	4.040	4.040	4.040
<b>Establecimientos en Operación</b>	3.957	2.985	3.011	3.018	3.011
<b>Establecimientos en Operación (%)</b>	97,95%	73,89%	74,53%	74,70%	74,53%
<b>Estudiantes Escenario</b>	1.168.494	1.168.494	1.168.494	1.168.494	1.168.494
<b>Estudiantes Asignados (%)</b>	98,47%	98,96%	98,96%	98,96%	98,96%
<b>Distancia promedio recorrida [metros]</b>	2.214	1.984	2.075	1.982	2.077
<b>Distancia máxima recorrida [metros]</b>	69.447	88.543	89.732	88.543	89.732

<sup>20</sup> Considera un establecimiento repetido de la zona IX.1

	A	B	BC	T	TC
<b>Costo de Operación Total [MM\$]</b>	767.198	748.949	753.660	749.892	753.891
<b>Costo de Construcción Total [MM\$]</b>	9.431	9.431	9.431	1.368	2.071
<b>Costo de Transporte [MM\$]</b>	255.202	229.648	240.199	229.434	240.431
<b>Beneficio Calidad [MM\$]</b>	71.562	61.559	113.540	61.642	111.756
<b>Beneficio Social Neto [MM\$]</b>	-960.268	-926.468	-889.750	-919.052	-884.638

La Tabla 19 muestra la matrícula asignada en cada escenario para los establecimientos en análisis.

En el escenario A los establecimientos en general mantienen su matrícula, pero no en todos los casos. Esos casos se explican porque, dadas las restricciones de distancia máxima de viaje, no fue posible satisfacer la demanda de los establecimientos de dicha zona.

A continuación se analiza el efecto de la asignación eficiente, del terremoto y la calidad a partir los resultados.

**TABLA 19: RESULTADOS POR ESTABLECIMIENTO**

Id Establecimiento	Zona	Indicador Calidad	Capacidad 2009	Matrícula 2009	Escenario				
					A	B	BC	T	TC
1	VI	-24,8	1661	1173	1173	1661	910	0	0
2	VI	-15,3	336	326	326	240	336	0	0
3	VI	-10,7	601	528	528	528	528	0	0
4	VI	0,0	13	9	0	0	0	0	0
5	VI	0,0	18	9	9	0	0	0	0
6	VI	0,0	621	546	327	327	323	183	203
7	VI	0,4	389	330	193	185	166	144	144
8	VII	-18,5	372	219	219	354	354	0	0
9	VII	-7,6	1383	1203	1086	1289	753	701	690
10	VII	0,2	1781	1600	1600	1621	1621	0	238
11	VII	5,6	655	649	649	655	655	0	0
12	VII	6,8	438	391	391	414	414	0	0
13	VII	19,5	129	59	59	90	102	74	85
14	VII	25,7	815	791	234	0	815	0	0
15	VII	25,7	720	590	590	656	656	0	656
16	VIII	-11,8	315	276	234	273	0	0	0
17	VIII	9,2	747	610	610	619	619	0	0
18	VIII	21,1	450	357	231	0	376	0	0
19	VIII	31,2	924	809	809	809	809	0	0
20	IX.1	0,0	26	22	12	16	17	0	17

Id Establecimiento	Zona	Indicador Calidad	Capacidad 2009	Matrícula 2009	Escenario				
					A	B	BC	T	TC
21	IX.1	0,0	34	32	32	34	34	0	0
22	IX.1	16,0	811	669	669	669	669	574	669
23	IX.2	3,7	122	66	66	0	0	0	0
24	XIII.1	2,0	249	193	193	215	216	92	92
25	XIII.1	17,8	350	268	241	216	252	44	167
26	XIII.2	-62,5	38	20	20	23	23	23	23
27	XIII.2	-28,7	1785	1356	1356	1405	0	0	0
28	XIII.3	10,3	704	387	387	623	670	0	0

## 7.1 Beneficio de la Asignación Eficiente

Al comparar los resultados del escenario de la situación actual (A) y el escenario base (B) se observa la diferencia considerable en la cantidad de establecimientos en operación, es decir los establecimientos en que el modelo le asignó al menos un estudiante. En la situación actual se mantuvo el 97,95%<sup>21</sup> y al asignar los estudiantes de manera eficiente fueron necesarios solo el 73,89% de los establecimientos. La considerable disminución es explicada por la utilización de la capacidad ociosa de los establecimientos en la actualidad.

Lo anterior, sumado a la redistribución de estudiantes a establecimientos más eficientes, significa un ahorro en costos operacionales de MMS\$ 18.249 para el sistema educacional analizado. En términos de distancia de viaje promedio la diferencia es pequeña (cerca de 200 metros) entre ambos escenarios.

Estos resultados reflejan que la red actual puede ser mejorada solo con la movilidad de los estudiantes. Gran parte de los beneficios proviene de la utilización de capacidad ociosa de los establecimientos y de la utilización de establecimientos más eficientes, lo que específicamente significa priorizar los que oferten una mayor cantidad de grados.

Resulta interesante notar que al optimizar la asignación sin considerar la calidad, ésta disminuye en un 14% respecto al escenario actual, presumiblemente porque la distribución de éste último refleja la elección de los apoderados, la cual si considera la calidad.

## 7.2 Efecto del Terremoto

Al optimizar la reconstrucción de los establecimientos analizados los costos operacionales aumentan levemente -MMS\$ 943 comparando B con T-, pero estos costos son compensados por un ahorro de costos de construcción cercanos a los MMS\$ 8.063 comparado con la opción de replicar la configuración actual de la red, que significa reconstruir todos los establecimientos.

<sup>21</sup> Este 2,05% de diferencia se explica pues a pequeños establecimientos aislados no le fue posible al modelo asignar estudiantes, dadas las restricciones de distancia.

Este aumento en los costos de operación se explica por la pérdida de capacidad en establecimientos con economías de escala, como por el ejemplo el establecimiento Id 3, que a pesar de ser del tipo más eficiente, con todos los niveles B1-M4, no es reconstruido por el modelo pues los estudiantes pudieron ser reasignados a establecimientos que no sufrieron daños. Cabe señalar que hay por lo menos 12 establecimientos que habrían operado en condiciones normales y que el modelo no utilizó, lo que significaría un ahorro en costos operacionales. Por otra parte, no hay un efecto claro del terremoto en los costos de transporte pues, si bien aumentan al considerar calidad, disminuyen levemente al no considerarla.

Ahora, se observa que por efecto de considerar la calidad aumentan los costos de construcción (51%), operación (0,6%) y transporte (5%). Naturalmente, al considerar el beneficio de la calidad resulta beneficioso reconstruir establecimientos que no lo eran al ignorar su calidad, y los apoderados envían a sus hijos más lejos, a establecimientos con menores economías de escala, pero con mejor rendimiento. En términos absolutos, los costos de transporte son los que más aumentan, seguidos por los costos operacionales, lo que se debe a los efectos que genera todo el sistema incorporar la calidad en el modelamiento como un factor adicional en la función objetivo.

Cabe señalar que la reconstrucción de escuelas beneficia por igual a establecimientos grandes y pequeños a pesar que estos últimos tienen mayores costos operacionales en general<sup>22</sup>: de los 7 establecimientos más pequeños, cuya capacidad no supera los 150 alumnos, 2 se reconstruyen en cualquiera de los escenarios con terremoto, mientras que de los 7 más grandes (capacidad superior a 800 alumnos), 2 son reconstruidos en ambos escenarios. Esto se debe a que los establecimientos más pequeños se emplazan en zonas más aisladas, donde hay menos alternativas para relocalizar los alumnos, mientras que los establecimientos más grandes se emplazan en zonas urbanas de mayor concentración poblacional, donde existen más alternativas de establecimientos. Por ejemplo, el establecimiento Id 26, que el 2009 tenía 20 alumnos matriculados es reconstruido en cualquier escenario ya que su vecino más cercano con capacidad disponible se encuentra a 18 kms., por lo que su cierre obligaría a algunos alumnos a recorrer 20 kms., superando la distancia máxima de 10 kms. permitida para alumnos de educación básica en las zonas rurales (ver Ilustración 22). Por otro lado, el establecimiento Id 27 no es reconstruido en ningún escenario a pesar de ser el de mayor capacidad, dado que en un radio de 2,4 kms. a la redonda tiene 20 vecinos con suficiente capacidad para absorber su matrícula original (ver Ilustración 23).

---

<sup>22</sup> Como se vio anteriormente, que un establecimiento presente economías de escala en los costos operacionales no depende del número de alumnos, sino de la cantidad de tipos de enseñanza que imparte.

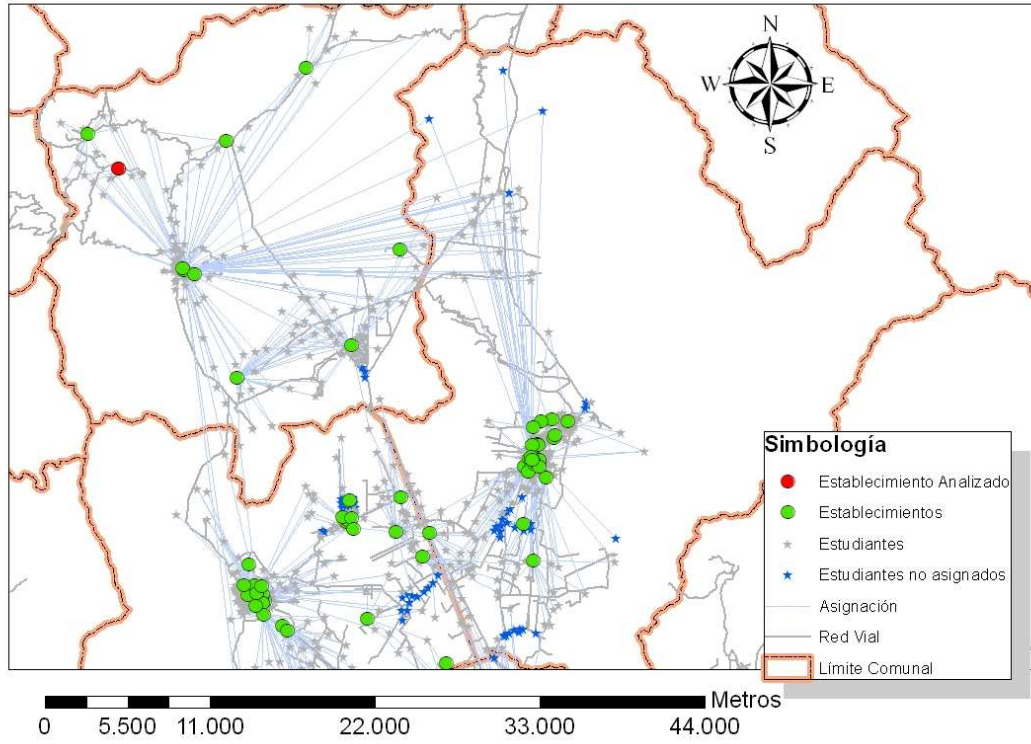


ILUSTRACIÓN 22: MAPA EVALUACIÓN ESTABLECIMIENTO 26

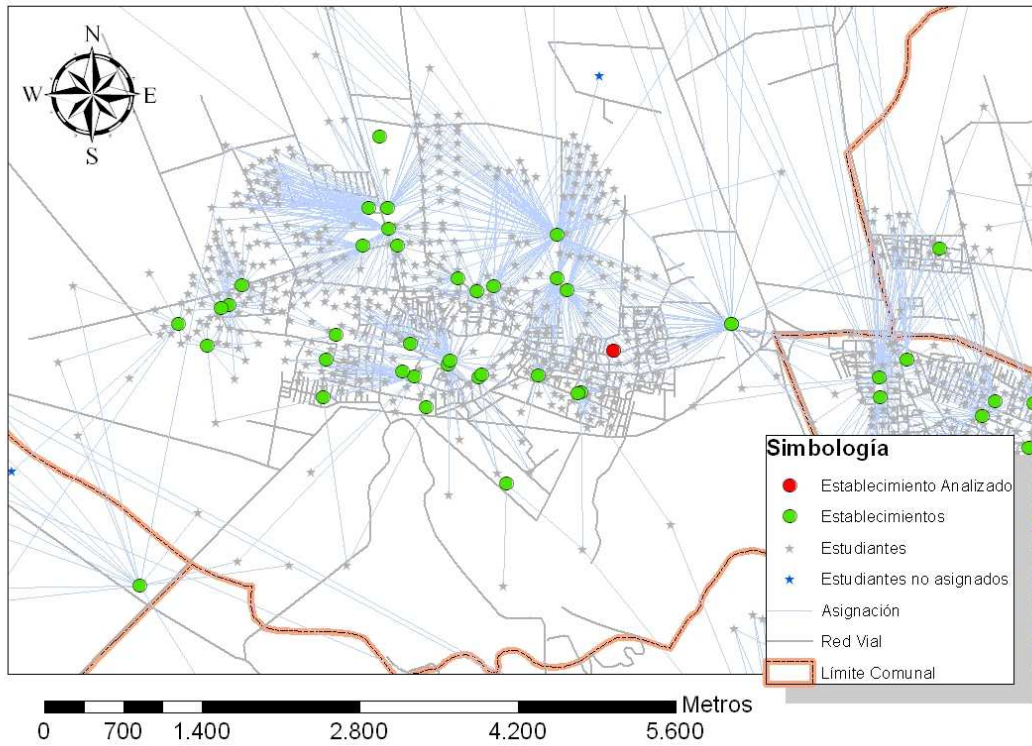


ILUSTRACIÓN 23: MAPA EVALUACIÓN ESTABLECIMIENTO 27

### 7.3 Beneficio de la Calidad

Se observa que por efectos de la calidad el modelo reconstruye 3 establecimientos adicionales a los 5 que reconstruía en el escenario sin calidad. Lo anterior se produce porque los beneficios del aumento de calidad en el sistema compensan los costos de construcción. En este sentido, cabe destacar que la decisión de reconstrucción al considerar la calidad está determinada no sólo por el indicador de calidad particular de cada establecimiento, sino por el de sus vecinos y la configuración de la red en general. Por ejemplo, el Id 20 fue reconstruido no porque su desempeño era superior a sus vecinos, sino porque el Id 29, ubicado a 22 kms. de distancia y con un indicador de 18 pts., atrae estudiantes de toda la zona por lo que el Id 29 debe abrir para atender a los alumnos más alejados que no tienen otras alternativas (ver Ilustración 24). Su apertura permitió generar mayores beneficios asociados a la calidad en el sistema.

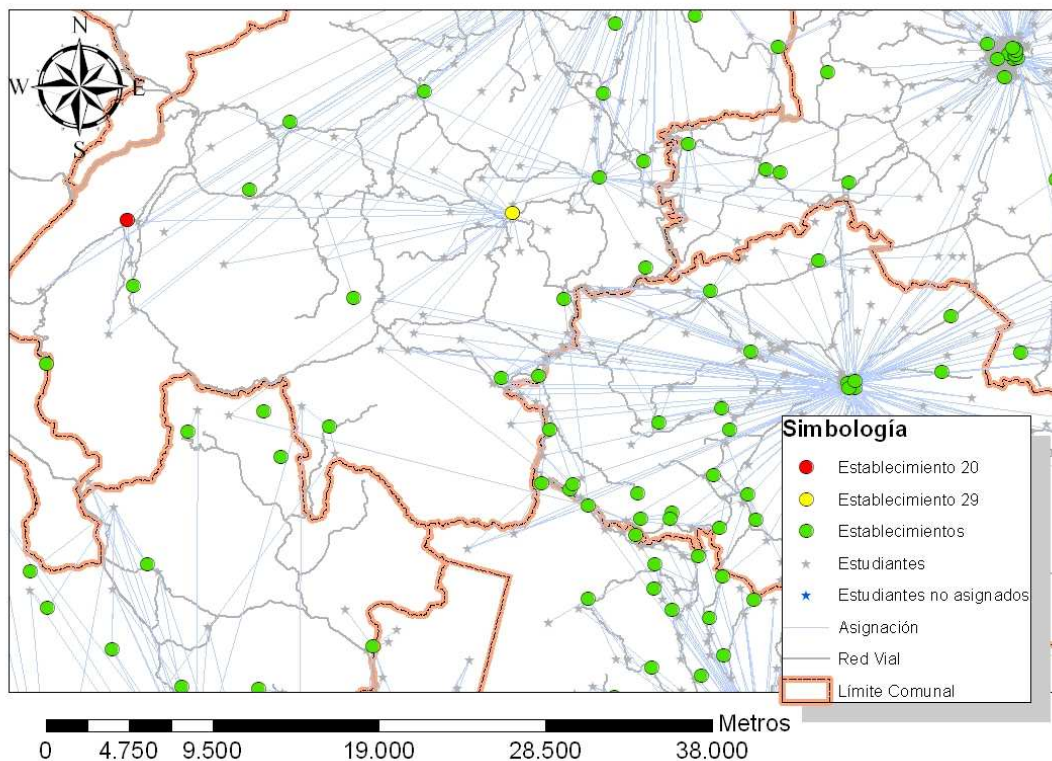


ILUSTRACIÓN 24: MAPA EVALUACIÓN ESTABLECIMIENTO 20

Se observa que por efectos del terremoto se generó una pérdida en la calidad del sistema de 1,57% respecto a una distribución inicial optimizada (escenario BC comparado con B), lo que se debe a que ciertos establecimientos con indicadores de calidad positivos no fueron reconstruidos debido a sus costos de reconstrucción.

Por otra parte, la incorporación de la calidad permitió aumentar los beneficios asociados a la calidad en un 81% y los beneficios netos (descontando los costos) en un 3,74%. Esto es



equivalente a un incremento de 2,5 puntos SIMCE por alumno respecto al escenario actual (A) y a 3,1 puntos SIMCE respecto a la asignación eficiente (B). Sin embargo como se vio anteriormente, incorporar la calidad significó un aumento en los costos de construcción, operación y transporte.

## 8 CONCLUSIONES

A partir del proceso de re-construcción que ha vivido nuestro país desde febrero del 2010, mes de uno de los terremotos más grandes de la historia, la presente tesis ha abordado las posibilidades de mejora del sistema educacional chileno, diseñando un modelo matemático y posteriormente su implementación.

Se ha expuesto el diseño de un modelo que tiene por objetivo orientar, en un mínimo tiempo, las decisiones respecto a los establecimientos educacionales a reconstruir en un contexto de post-terremoto. El modelo evalúa la reconstrucción de escuelas damnificadas, maximizando la calidad de la educación, indicado a través del SIMCE estandarizado por GSE y minimizando los costos del sistema, indicados a través de la sumatoria de los costos operacionales, de transporte, y de construcción, reparación o reconstrucción.

Para el desarrollo del modelo, se toma como punto de partida la configuración de la red educativa previa al terremoto y se **genera una red eficiente** en base a los objetivos y estándares del tomador de decisiones. La evaluación de un proyecto específico se realiza considerando el comportamiento del establecimiento en dicha red eficiente, evaluando los costos y beneficios de la reposición de infraestructura damnificada y modificaciones a la red.

En relación al diseño conceptual del modelo, se consideró la metodología de evaluación de proyectos educativos del Ministerio de Planificación, en complemento con modelos matemáticos de localización-asignación. Si bien la metodología teórica del MIDEPLAN es completa en términos de variables explicativas, propone un diagnóstico exhaustivo y un proceso de decisión complejo, por lo que el desarrollo de modelos matemáticos basados en esta metodología, permiten agilizar y aumentar el volumen de los análisis.

El resultado es un modelo capaz de integrar múltiples variables, como son la calidad de los establecimientos, la capacidad de los establecimientos, la interacción entre las zonas urbanas y rurales, distancias y costos para los usuarios, entre otras, las cuales no son integralmente consideradas en modelos similares desarrollados tanto a nivel internacional como nacional. Así mismo, el modelo integra los intereses de distintos actores como el MINEDUC, los apoderados y los establecimientos, reflejando los múltiples trade-offs existentes y que hacen de las decisiones de infraestructura escolar decisiones complejas y muchas veces controversiales.

En este sentido, uno de los aspectos fundamentales de la construcción del modelo es la incorporación como variable de la calidad educativa, la cual no había sido considerada en modelos de localización previos(32).

A través de la calibración de parámetros críticos, el modelo permite evaluar fácilmente distintos estándares de calidad y eficiencia de la red. Por ejemplo, modificando el indicador o el parámetro de valoración de la calidad se puede aumentar o disminuir el peso de ésta con respecto a los costos del sistema y reflejar así la importancia que dan los apoderados y el MINEDUC a esta variable, mientras que modificando la distancia máxima que pueden recorrer los alumnos de zonas alejadas, el modelo podría asignar a establecimientos más eficientes en función de su localización y de los costos y tiempos de transporte.

A partir del análisis teórico realizado, las variables identificadas y calibradas, la presente tesis desarrolla un software-interfaz que permite modificar los parámetros críticos pudiendo integrar múltiples objetivos, de diversos actores, y tomar una decisión que equilibre los intereses de los involucrados. Además, la interfaz permite agregar o sacar fácilmente de la simulación comunas adyacentes en función de la interacción observada entre las redes educativas, lo que permite modificar de acuerdo al usuario, la zona de influencia del establecimiento.

Desde el punto de vista metodológico, la incorporación de la calidad al modelo le otorga mayor validez toda vez que de acuerdo a la evidencia existente, en el sistema educacional chileno, la calidad es una de las principales razones consideradas por las familias para escoger un establecimiento educacional.

El indicador construido para estimar la calidad en esta investigación puede ser sujeto de discusión. Sin embargo, entrega orientaciones que pueden ser complementadas por el MINEDUC con la comunidad local. En este sentido, la calibración del parámetro que valoriza la calidad de los establecimientos resulta particularmente importante para modelar la preferencia de los apoderados y los objetivos del MINEDUC. Para análisis futuros se recomienda modelar las decisiones considerando la variable calidad -en la medida que se pueda consensuar un indicador de calidad-, pero sin perder de vista las diferencias en los resultados al omitir esta variable, y en base a ellas orientar la búsqueda de información a nivel local.

Respecto a la calibración de las variables, el modelo fue construido como un insumo para el análisis de decisiones de reconstrucción que el MINEDUC hace con los actores locales (municipios, sostenedores privados, apoderados, etc.). El modelo integra la información de la red educativa que dispone el MINEDUC a nivel central, la cual muchas veces es incompleta o imperfecta. Existen datos relevantes para el modelo como la calidad y capacidad efectiva de los establecimientos, los costos de construcción (que podrían variar dependiendo de la región) que deben ser contrastados y complementados con la información disponible a nivel local. En ningún caso los resultados del modelo deben tomarse como una prescripción, ni deben reemplazar el análisis de la situación con los actores locales. En este sentido, el modelo puede ayudar a transparentar los antecedentes considerados en la toma de las decisiones, y así contribuir al accountability de la política de reconstrucción del MINEDUC.

En este sentido las estimaciones y los correspondiente parámetros incluidos, pueden ser mejorados usando información más completa y actualizada, como por ejemplo: la localización de la demanda podría ser actualizada con la información del Censo 2012; la

localización de los establecimientos de educación pre-básica, el copago exigido por cada establecimiento; la selección académica que realizan los establecimientos y que determina sus resultados educacionales; desagregar los tipos de educación o hacer el análisis según el número de cursos de cada tipo de enseñanza existentes en cada establecimiento, lo cual probablemente impacte en la dificultad de resolución del modelo.

En términos de resultados, el modelo valorizó las variables en igual grado de importancia (ponderadores con valor unitario), permitiendo estimar el costo social asociado al derrumbe de 28 establecimientos bajo análisis. El principal costo es el de construcción, el cual se encontraría entre los MM\$1.370 y MM\$2.070 de pesos, dependiendo si se hace consideración de la calidad en el modelamiento del sistema o no. Sin embargo, también existen costos asociados a pérdidas de eficiencia operacional, mayores distancias de transporte y menor calidad educativa en el sistema. En relación a la cobertura, con las reparaciones propuestas no existe una disminución en ésta, en el marco de los parámetros considerados.

De los 28 establecimientos damnificados, en 11 casos se justificó su reconstrucción al considerar los beneficios de la calidad, mientras que se reconstruyeron 8 establecimientos cuando no se consideró dicha variable. Los establecimientos no reconstruidos se explican básicamente porque el ahorro en costos de operación, transporte y los beneficios asociados a una mayor calidad en el sistema, no compensaron sus costos de construcción.

Así también la inclusión de la calidad en la función objetivo permitió obtener una configuración que podría significar un aumento del desempeño educativo en 3,1 puntos por alumno respecto a la situación actual, lo que representa un beneficio social neto 7% superior en relación al escenario de no considerar esta variable en el diseño de una red eficiente.

Se agrega a lo anterior la constatación de existencia de capacidad ociosa en el sistema, reflejada no sólo en que la matrícula de la mayoría de los establecimientos damnificados pudo ser reasignada a otros establecimientos, sino que también en la disminución de un 25% de los establecimientos del sistema, que el modelo considera innecesarios. Si bien los indicadores agregados a nivel nacional o municipal dan cuenta del nivel de la capacidad ociosa existente en el sistema, el análisis de casos particulares no es fácil debido a la complejidad de modelar la red.

Respecto a las conclusiones generales del modelo, es necesario destacar que el análisis realizado por el modelo para las decisiones de reconstrucción no perjudicó a los alumnos más vulnerables del sistema, problema insoslayable en modelos similares(49). Contrario a lo que se esperaba, los establecimientos de zonas rurales no resultaron particularmente perjudicados por el cierre de escuelas, pues el modelo reconstruyó de igual modo a establecimientos urbanos y rurales en función de las distancias máximas de viaje definidas. Además, el indicador de calidad construido, SIMCE estandarizado por GSE, garantiza que no se privilegiaron establecimientos que atienden a alumnos de mayor nivel socioeconómico.

En relación al trade-off entre calidad y eficiencia del sistema, el escenario que consideró la calidad presentó mayores costos de transporte, operación y construcción con respecto a un escenario que no la considera. Sin embargo, estos costos se compensaron con el beneficio de contar con establecimientos de mayor calidad. Para efectos de reconstrucción esto se tradujo en que 3 establecimientos que no habrían sido reconstruidos al omitir la calidad fueron reconstruidos, ya que su beneficio superó los costos. La importancia que los apoderados asignan a esta variable para la elección del establecimiento educacional de sus hijos y el beneficio social que genera, hace de suma importancia incorporarla en el modelamiento del sistema.

El modelo abre líneas de estudio relacionadas con políticas de infraestructura escolar. Por ejemplo en la política de rediseño de la red en municipios con altos niveles de endeudamiento, el modelo podría orientar decisiones para disminuir los costos operacionales. Durante la construcción del modelo se hicieron algunos análisis de este tipo para el MINEDUC, no obstante, se podría profundizar en esta línea dado que los estudios realizados hasta el momento -Gallego, 2010(2) y Araya, 2011(31)- no consideran la localización de la demanda o no integran en el análisis a establecimientos urbanos y rurales, además de ignorar los efectos del factor calidad.

Asimismo en base a este modelo se podría actualizar la metodología de evaluación de proyectos de infraestructura escolar, y en general de evaluación proyecto en red, que utiliza actualmente el MINEDUC y el MIDEPLAN, considerándolo como un resultado preliminar de bajo costo marginal. A pesar que en la metodología actual se consideran gran parte de las variables incorporadas en el modelo, en algunos casos estas decisiones se evalúan en base a indicadores agregados a nivel comunal, los cuales no dan cuenta de la configuración espacial de la red ni los trade-offs de los intereses involucrados.

Finalmente, este trabajo muestra la importancia de realizar análisis en red en sistemas donde existen actores independientes que no consideran los impactos de sus decisiones en la red. Particularmente en países como Chile, donde un gran número de servicios públicos son entregados a partir de sistemas público-privados con escasa coordinación.

## 9 BIBLIOGRAFÍA

1. **Ministerio de Educación.** *Ficha 2: Catastro de Daños en Establecimientos Educativos post Terremoto.* Unidad de Infraestructura. Santiago : s.n., 2010.
2. *The Political Economy of School Size: Evidence from Chilean Rural Areas.* **Gallego, F., Rodríguez, C., Sauma, E.** 375, Santiago : s.n., 2010, Pontificia Universidad Católica de Chile.
3. **Instituto Nacional de Estadísticas.** Proyecciones Demográficas 1990-2020. [En línea] 2002. [Citado el: 15 de Septiembre de 2010.] [http://www.ine.cl/canales/chile\\_estadistico/demografia\\_y\\_vitales/proyecciones/MenPrincOK.xls](http://www.ine.cl/canales/chile_estadistico/demografia_y_vitales/proyecciones/MenPrincOK.xls).
4. **Gobierno de Chile.** Balance de Reconstrucción. [En línea] 07 de Febrero de 2011. [Citado el: 12 de Agosto de 2011.] [http://www.gob.cl/media/2011/02/Divest-10207-Estudios-Especiales\\_Resumen-Ejecutivo-Balance-a-1-a-%C3%B1o-del-27F.pdf](http://www.gob.cl/media/2011/02/Divest-10207-Estudios-Especiales_Resumen-Ejecutivo-Balance-a-1-a-%C3%B1o-del-27F.pdf).
5. **Ministerio de Educación.** Ley General de Educación. [En línea] 16 de Diciembre de 2009. [Citado el: 15 de Diciembre de 2010.] <http://www.leychile.cl/Navegar?idNorma=1014974>.
6. —. Estadísticas e Indicadores. *Tabla de Directorio Oficial de Establecimientos.* [En línea] 2010. [http://w3app.mineduc.cl/DedPublico/archivos\\_de\\_datos](http://w3app.mineduc.cl/DedPublico/archivos_de_datos).
7. —. Decreto Fuerza de Ley nº2 de Educación. [En línea] 20 de Agosto de 1998. [Citado el: 15 de Diciembre de 2010.]
8. **Ministerio de Planificación.** *Metodología para Formulación y Evaluación de Proyectos de Educación.* [En línea] 2010. [Citado el: 20 de Julio de 2010.] [http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/documentos/Metodologias/me\\_educacion.pdf](http://sni.ministeriodesarrollosocial.gob.cl/documentos/Metodologias/me_educacion.pdf).
9. **Perales, R.C.** *Consumer Choice in Competitive Location Models.* Departamento de Economía y Empresa, Universidad Pompeu Fabra. Barcelona : s.n., 2002. Tesis Doctoral.
10. *Facility Location: A Survey of Applications and Methods.* **Drezner, Z.** Springer : s.n., 1995.
11. *Optimal Location of Switching Centers and the Absolute Centers and Medians of a Graph.* **Hakimi, S.L.** 1964, Operations Research, Vol. 12, págs. 450-459.
12. *Integer programming: methods, uses, computation.* **Balinski, M.L.** 1965, Management Science, Vol. 12 (3), págs. 253-313.
13. *The Maximal Covering Location Problem.* **Church, R. and ReVelle, C.** 1974, Papers of the Regional Science Association, Vol. 32, págs. 101-118.

14. *Probabilistic, Maximal Covering Location-Allocation Models for Congested Systems.* **Marianov, V. and Serra, D.** 1998, Journal of Regional Science, Vol. 38 (3), págs. 401-424.
15. *Gravity model applications in health planning: analysis of an urban hospital market.* **Lowe, J.M. and Sen, A.** 1996, Journal of Regional Science, Vol. 36 (3), págs. 437-461.
16. *A Consumer Preference Approach to the Planning of Rural Primary Health-Care Facilities.* **Parker, B.R. and Srinivansan, V.** 1976, Operations Research, Vol. 24, págs. 991-1029.
17. *Optimal location of public health centres which provide free and paid services.* **Marianov, V. and Taborga, P.** 2001, Journal of the Operational Research Society, Vol. 52 (4), págs. 391-400.
18. *Schools in Southampton: A Quantitative Approach to School Location, Closure and Staffing.* **Molinero, C.** 1988, Journal of the Operational Research Society, Vol. 39 (4), págs. 339-350.
19. *The Location of Public Schools: Evaluation of Practical Experiences.* **Pizzolato, N.D. y Silva, H.B.F.** 1997, International Transactions in Operation Research, Vol. 4 (1), págs. 13-22.
20. *School location methodology in urban areas of developing countries.* **Pizzolato, N.D., Broseghini F., Nogueira, L.** 2004, International Transactions in Operational Research, Vol. 11, págs. 667-681.
21. *Localização de Escolas Públicas: Síntese de Algumas Linhas de Experiências no Brasil.* **Pizzolato, N.D. et al.** 2004, Pesquisa Operacional, Vol. 24 (1), págs. 111-131.
22. *A heuristic for large-size p-median location problems with application to school location.* **Pizzolato, N.D.** 1994, Annals of Operations Research, Vol. 50 (1), págs. 473-485.
23. **Photis, Y.N. and Koutsopoulos, K.C.** *Supporting Locational decision making: regionalization of service delivery system.* National Technical University of Athens. Atenas, Grecia : s.n., 2003.
24. *Localização de escolas do ensino fundamental com modelos capacitado e não-capacitado: caso de vitória/es.* **Broseghini, F., Domingues, N., Nogueira, L.** 2003, Pesquisa Operacional, Vol. 24 (1).
25. *Localización de infraestructura educativa para localidades urbanas de la Provincia de Buenos Aires.* **Cohe, E., Martinez, R., Donoso, P., Aguirre, F., Orellana H.** [ed.] CEPAL. 2003, SERIE Políticas sociales, Vol. 79.
26. *A dynamic optimization model for school network planning.* **D., Antunes A. and Peeters.** 2000, Socio Economic Planning Sciences, Vol. 34, págs. 101-120.

27. *Modelo de Optimización lineal determinístico para la localización de colegios*. **Gac, I., Martínez, F., Weintraub, A.** 2006, Revista Ingeniería de Sistemas, Vol. XX.
28. **Gac, I.** *Modelo de optimización lineal determinístico para la localización de colegios*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago : s.n., 2006. Tesis de Magister.
29. *A model of schools locations: equilibrium and optimal solutions*. **Martínez, F., Tamblay, L., Weintraub, A.** 2007, Environment and Planning, Vol. 43 (8), págs. 1853–1874.
30. **Tamblay, L.** *Localización de colegios en Santiago aplicando un enfoque estocástico*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago : s.n., 2006. Tesis de Magister.
31. *Optimizing Location and Size of Rural Schools in Chile*. **Araya, F., Dell, R., Donoso, P., Marianov, V., Martínez, F., Weintraub, A.** Santiago : s.n., 2012, to appear, International Transactions in Operational Research.
32. **Araya, F.** *Localización Óptima y Redimensionamiento de Escuelas Rurales en Chile*. Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. Santiago : s.n., 2010. Tesis de Magister.
33. **Instituto Nacional de Estadísticas.** *Censo de Población 2002*. [Base de Datos - REDATAM] 2002.
34. **Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile.** *Diseño y Aplicación de un Sistema de Información Geográfica para la Educación Rural*. Ministerio de Educación. Santiago : s.n., 2009.
35. **Ministerio de Obras Públicas.** *Sistema de Información Geográfica - Mapas de Carretera*. [Shapefile] 2007.
36. **Muñoz, Alejandra.** El Mercurio. *"Sólo el 14,5% de los padres escoge el colegio de sus hijos según los resultados académicos"*. [En línea] 29 de Junio de 2010. [Citado el: 30 de Junio de 2010.] <http://diario.elmercurio.com/2010/06/29/nacional/nacional/noticias/C91DD89E-5604-4F32-A0A0-BA286CD63FA3.htm?id={C91DD89E-5604-4F32-A0A0-BA286CD63FA3}>.
37. *I Would Walk 500 Miles (if it paid)*. **Chumacero, R., Gómez, D., Paredes, R.** 2008, Munich Personal RePEc Archive. No publicado.
38. **Ministerio de Educación.** *Sistema Información General de Estudiantes*. [Base de Datos] Santiago : s.n., 2010.
39. —. *Georeferencia de Establecimientos en Regiones Relevantes Terremoto 2010*. [Base de Datos] Santiago : s.n., 2010.

40. **Ministerio de Educacion, Elige Colegio.** Mapas de Resultado SIMCE. [En línea] Mapcity, 02 de Junio de 2010. [Citado el: 20 de Julio de 2010.] [http://clasico.mapcity.com/not.php?noticia\\_id=382](http://clasico.mapcity.com/not.php?noticia_id=382).
41. **Ministerio de Educación.** *Base de Datos Corporativa de Establecimientos.* [Base de Datos] Santiago : s.n., 2009.
42. **Google.** Google Maps. [En línea] 2010. [Citado el: 25 de Julio de 2010.] <http://maps.google.cl/>.
43. **Ministerio de Educación.** *Concursos 5-6-7-8.* [Documentos Excel] [prod.] Unidad de Infraestructura. 2010. Informes de Diseño y Permiso.
44. —. *Sistema de Información de Planta Física.* [Base de Datos] s.l. : Unidad de Infraestructura, 2004. SIPLAF.
45. **Ministerio de Educación y Unesco.** *Nuevos espacios educativos 2005-2007.* Santiago : s.n., 2007. ISBN: 978-956-8302-79-5.
46. **Brealey, R.A., Myers, S.C.** *Fundamentos De Financiación Empresarial.* 5. Madrid : McGraw-Hill, 1998. ISBN : 8448120221.
47. **Mizala, A., Romaguera, P.** *Rendimiento Escolar y Premios por Desempeño - La experiencia Latinoamericana.* Centro de Economía Aplicada, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Chile. 2003.
48. **Ministerio de Educación - División de Planificación y Presupuesto (DIPLAP).** *Sistema Nacional de Evaluación del Desempeño - SNED.* [Base de Datos] 2010. Resultados SNED por establecimiento.
49. *Community-Based Operations Research.* **Johnson, M., Smilowitz, K.** 2007, *Tutorials in Operations Research*, págs. 102-123. ISBN 13 978-1-877640-22-3.
50. **Asociación Chilena de Empresas de Investigación de Mercado (AIM).** Metodología de Clasificación de Niveles Socioeconómicos. *Método usado por AIM Chile.* [En línea] 2002. [Citado el: 20 de Julio de 2010.] [www.aimchile.cl/gse.ppt](http://www.aimchile.cl/gse.ppt).
51. **Franco, A.** Coordenadas UTM. *Características de las coordenadas UTM y descripción de este tipo de coordenadas.* [En línea] 13 de Septiembre de 2000. [Citado el: 20 de Julio de 2010.] [http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas\\_utm.html](http://www.elgps.com/documentos/utm/coordenadas_utm.html).
52. **Ministerio de Educación.** SIMCE. *Archivos Públicos.* [En línea] 2010. [Citado el: 10 de Junio de 2010.] <http://www.simce.cl/index.php?id=262>.
53. —. *Dotación Docente.* [Base de Datos] 2009. Dotación de docentes, directivos y personal de apoyo por establecimiento.
54. **Instituto Nacional de Estadísticas.** *Localización de la población.* [Shape] 2002.



55. **Subsecretaría de Desarrollo Regional y Administrativo.** Sistema Nacional de Información Municipal. *Gastos en personal de educación y en funcionamiento del sector educación.* [En línea] 2009. [Citado el: 10 de Junio de 2010.] [www.sinim.cl](http://www.sinim.cl).

## 10 ANEXOS

### 10.1 Anexo A: Diseño de Interfaz de Ejecución

Esta interfaz consiste en la implementación del modelo matemático en un sistema que permita una interacción fluida con el usuario final.

Dicha herramienta permite configurar e ingresar valores particulares de algunos parámetros, como las capacidades de los establecimientos, las comunas que se desean analizar, creación de nuevos establecimientos, entre otros.

En este caso, existe un escenario general que determina la interacción entre ambas partes y es la intención del usuario de resolver el modelo. En la Ilustración 25 se muestra dicho escenario general y cada una de las etapas de dicha interacción.

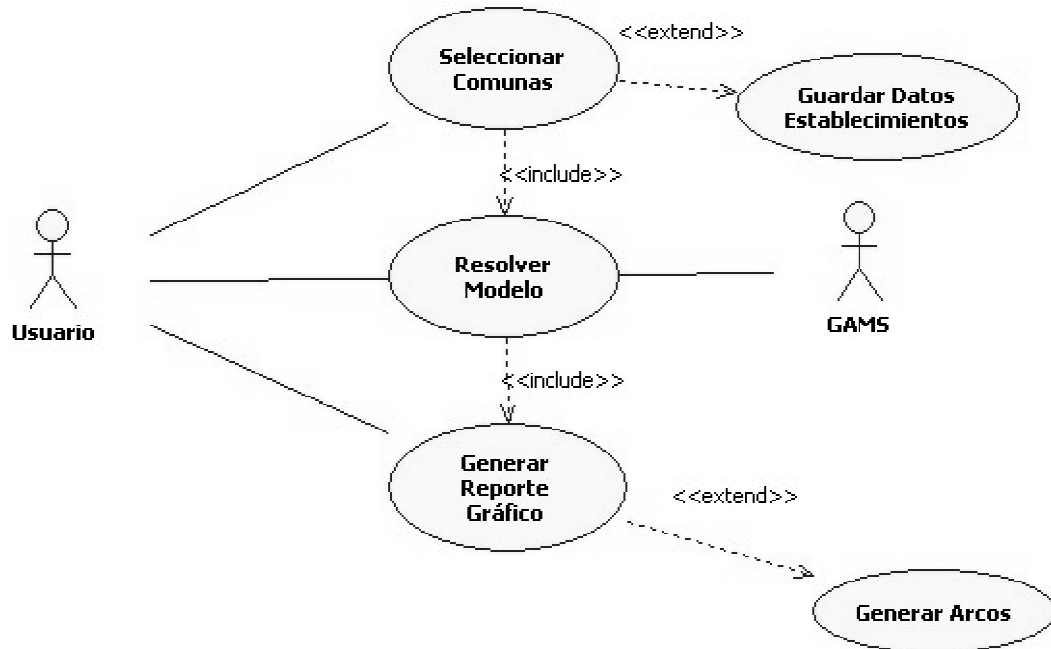


ILUSTRACIÓN 25: DIAGRAMA DE CASOS DE USO DE LA INTERFAZ COMPUTACIONAL

Es claro que las etapas se resuelven secuencialmente: primero es necesario seleccionar las comunas para resolver el modelo, y a su vez es necesario resolverlo para generar los reportes.

La Ilustración 25 además muestra la interacción con el software GAMS (actor externo al sistema). Si bien es necesario programar el modelo matemático, el método de resolución es inherente al programa (CPLEX), por lo que su representación en el diseño de la herramienta computacional es la de un agente externo.

A continuación se detalla el diseño de cada caso de uso y su descripción general.

#### **10.1.1 Caso de Uso: Seleccionar Comunas**

Este caso de uso corresponde al inicio de la interacción con el usuario. En este se deben seleccionar los establecimientos que estarán afectos al análisis. En general, dicha selección puede ser realizada con una unidad mínima que corresponde a la comuna, y una máxima que corresponde a la región.

Como resultado de este caso de uso se despliega una interfaz que permite al usuario ingresar datos de cada establecimiento.

El diagrama de secuencia de este caso de uso se detalla en la Ilustración 26

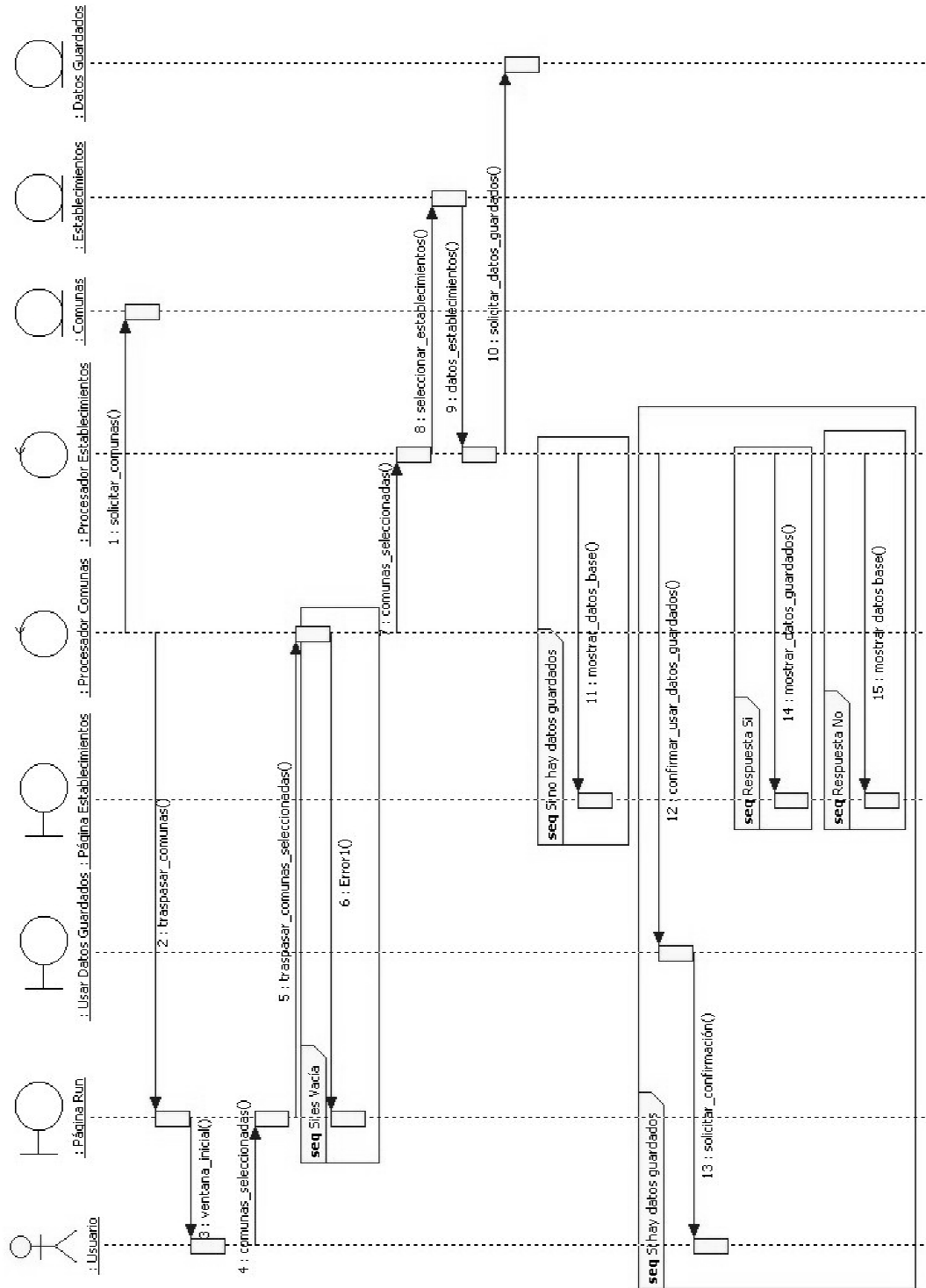


ILUSTRACIÓN 26: DIAGRAMA DE SECUENCIA SELECCIONAR COMUNAS

### 10.1.2 Caso de Uso: Guardar Datos Establecimientos

El software permite la opción de almacenar los datos ingresados por cada establecimiento, de manera de simplificar las modificaciones necesarias en una próxima corrida. Al seleccionar los establecimientos por defecto, el sistema consulta si se desea rescatar los datos guardados. Pero el almacenamiento no es automático, y debe ser indicado por el usuario. El diagrama de secuencia de este caso de uso se detalla en la Ilustración 27. Para este caso de uso es necesario haber realizado la selección de comunas, pero es un paso opcional.

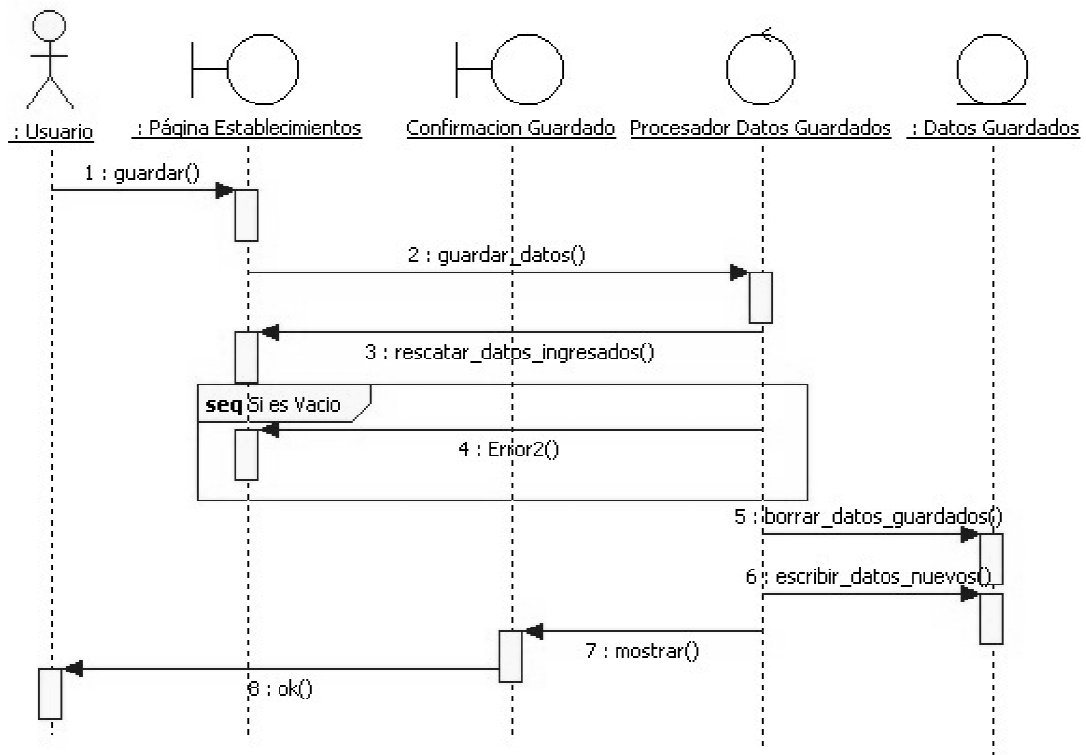


ILUSTRACIÓN 27: DIAGRAMA DE SECUENCIA GUARDAR DATOS ESTABLECIMIENTOS

### 10.1.3 Caso de Uso: Resolver Modelo

A continuación de la selección de comuna (establecimientos) se puede resolver el modelo. Esta etapa consiste en crear los archivos de datos necesarios en el formato correspondiente e invocar el software GAMS para que resuelva el modelo. El diagrama de secuencia para este caso de uso se muestra en la Ilustración 28.

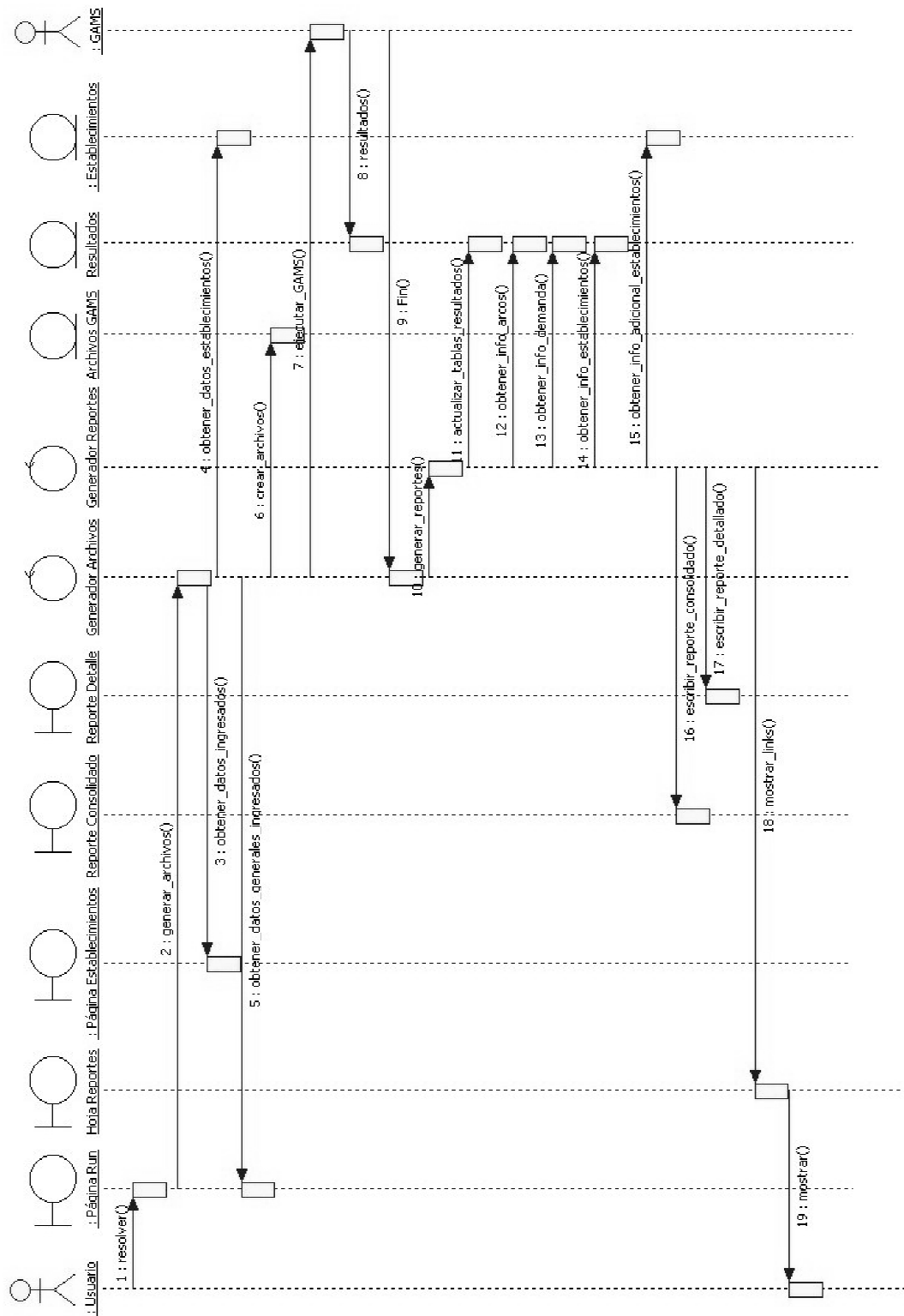


ILUSTRACIÓN 28: DIAGRAMA DE SECUENCIA RESOLVER MODELO

### 10.1.4 Caso de Uso: Generar Reporte Gráfico

Por defecto el caso de uso de Resolver Modelo genera reportes detallados y consolidados en planillas de cálculo, los cuales están disponibles para el usuario al terminar dicha ejecución. Para los reportes gráficos es necesario realizar una etapa adicional. Este caso de uso requiere que el modelo haya sido resuelto, e interpreta los resultados del modelo asociados a establecimientos y demanda para desplegarlos en pantalla en forma de reportes gráficos. Para la ejecución de este caso de uso es necesario tener el programa ArcGIS de ESRI<sup>23</sup>.

El diagrama de secuencia se detalla en la Ilustración 29.

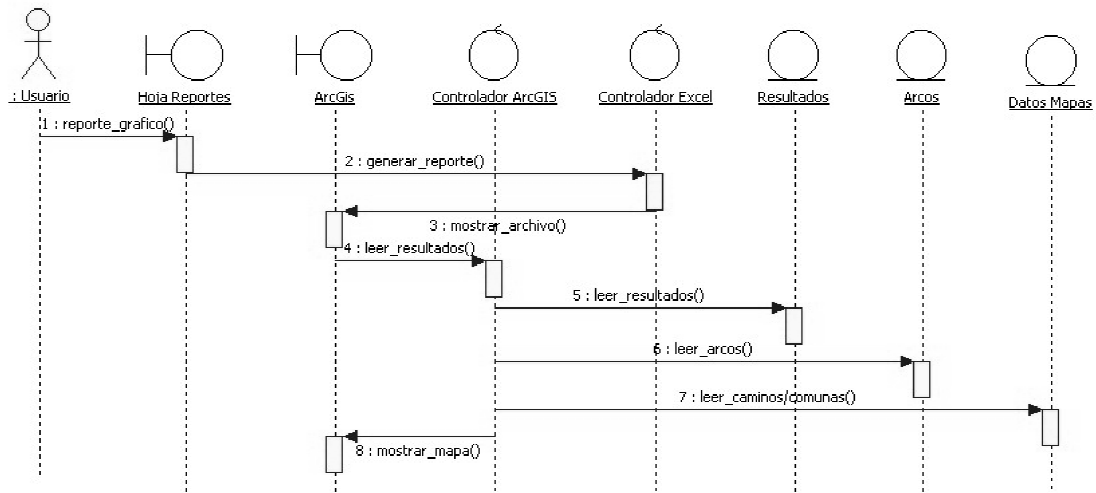


ILUSTRACIÓN 29: DIAGRAMA DE SECUENCIA GENERAR REPORTE GRÁFICO

<sup>23</sup> ArcGIS versión 9.3, ESRI.

### 10.1.5 Caso de Uso: Generar Arcos

Dentro del reporte gráfico mostrado en el caso de uso anterior existe la opción de desplegar los arcos que detallan la asignación de los estudiantes a los establecimientos. Para cargar dicho resultado es necesario actualizar los arcos almacenados en bases de datos gráficas. Este caso de uso es opcional, y solamente es requerido si se desean visualizar los arcos. Es necesario para realizar dicha etapa haber completado la generación de reportes gráficos.

El diagrama de secuencia de este caso de uso se muestra en la Ilustración 30.

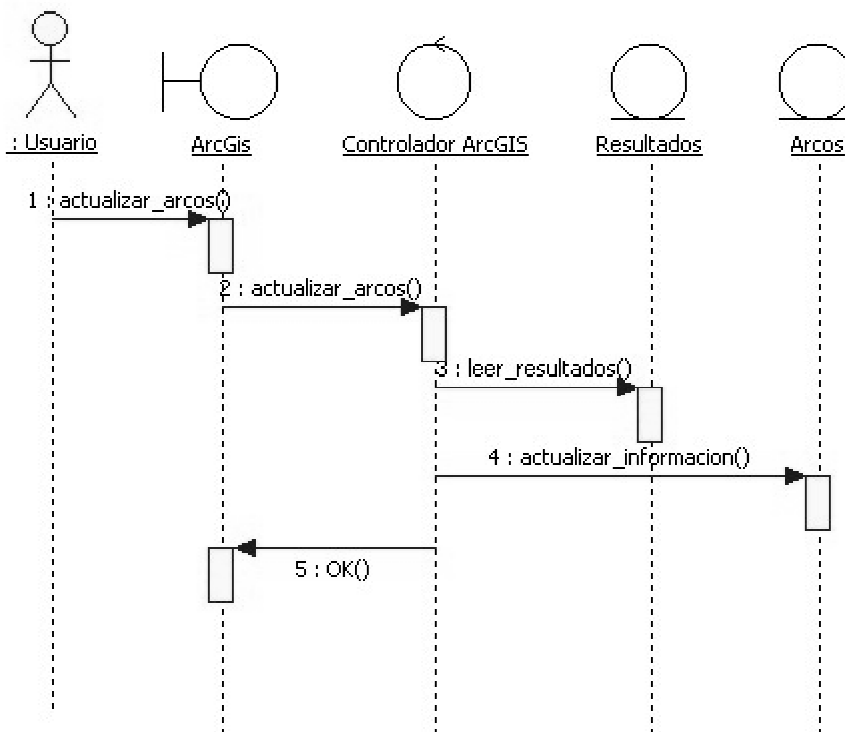


ILUSTRACIÓN 30: DIAGRAMA DE SECUENCIA GENERAR ARCOS



## 10.2 Anexo B: Estimación del Grupo Socio Económico de los Estudiantes

A nivel de manzanas no existe información empírica sobre los Grupos Socio Económicos, ni tampoco sobre los ingresos de sus habitantes. Sin embargo, la Asociación Chilena de Empresas de Investigación de Mercado (AIM) ha desarrollado una metodología que permite inferir, a través de datos recogidos del CENSO, una clasificación socio económica de la población(50).

Dicha metodología se basa en el supuesto de que los bienes de una familia y los estudios del jefe de hogar determinan de buena forma su nivel socio económico. En este sentido la metodología AIM se encuentra altamente alineada con la utilizada por el SIMCE para calcular el grupo socio económico al que pertenecen los estudiantes, pues este último considera el ingreso familiar (que puede ser aproximado por los bienes que se poseen) y por el nivel de estudios de los padres (presumiblemente el jefe de hogar será uno de ellos).

TABLA 20: FACTORES BIENES(50)

BIENES	PESO
Televisor color	22
Refrigerador	31
Teléfono fijo	72
Teléfono celular	85
Videograbador	111
Horno microonda	121
TV cable	131
Automóvil de uso particular	134
Computador	137
Conexión a Internet	156
SUMA	1.000

La metodología consiste en asignar puntajes a diferentes bienes encuestados en el CENSO 2002 que permita calcular un puntaje final por hogar (ver Tabla 20).

También se le asigna un puntaje al nivel de estudios alcanzado por el jefe de hogar (ver Tabla 21).

**TABLA 21: FACTORES NIVEL DE EDUCACIÓN DEL JEFE DE HOGAR(50)**

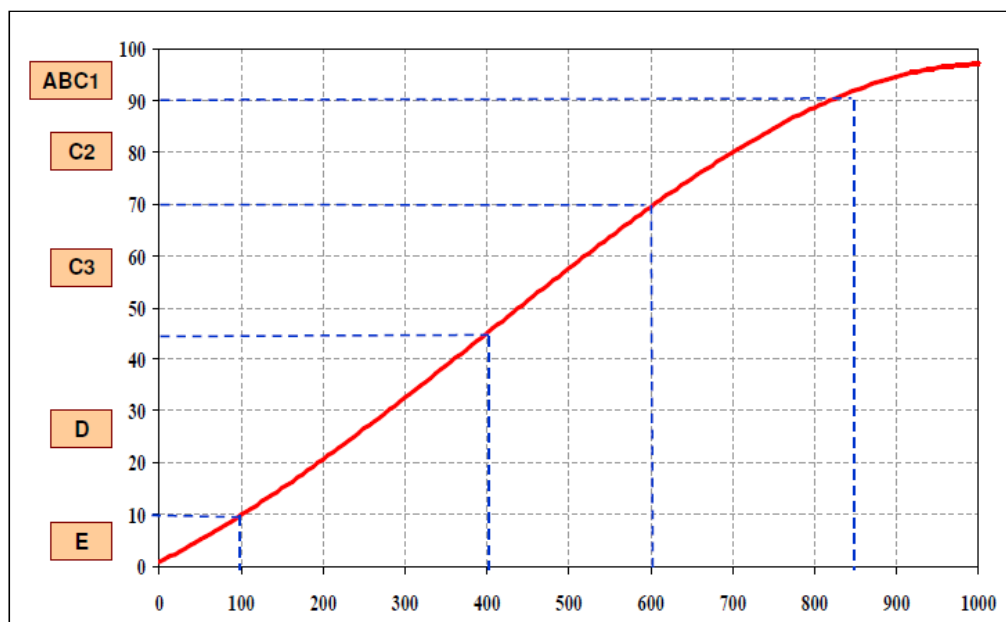
Identificador	NIVEL EDUCACIONAL J.H.	INDICE EDUCACION
8	Universitaria completa	1000
7	Técnica completa / Universitaria incompleta	914
6	Técnica incompleta	858
5	Media completa	620
4	Media incompleta	426
3	Básica completa	334
2	Básica incompleta	57
1	Sin estudios	0

Para categorizar los diferentes niveles de estudios se utilizó la conversión detallada en la Tabla 22, teniendo en cuenta que el registro que se almacena en el CENSO es el último nivel de estudios que fue aprobado.

**TABLA 22: CATEGORIZACIÓN DEL NIVEL DE ESTUDIOS JEFE DE HOGAR(50)**

Niveles educacionales	Nº DE AÑOS CURSADOS EN EL NIVEL								
	No aplica	1 Año	2 Años	3 Años	4 Años	5 Años	6 Años	7 Años	8 Años
NUNCA ASISTIO	1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Pre-básica	1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
Especial Diferencial	N/D	1	1	1	1	1	1	1	1
Básica Primaria	N/D	2	2	2	2	2	2	2	3
Media Común	N/D	4	4	4	5	N/D	N/D	N/D	N/D
Humanidades	N/D	4	4	4	4	4	5	N/D	N/D
Media Comercial	N/D	4	4	4	5	5	N/D	N/D	N/D
Media Industrial	N/D	4	4	4	5	5	N/D	N/D	N/D
Media Agrícola	N/D	4	4	4	5	5	N/D	N/D	N/D
Media marítima	N/D	4	4	4	5	5	N/D	N/D	N/D
Normal	N/D	4	4	4	4	4	5	5	N/D
Técnica Femenina	N/D	4	4	4	5	5	N/D	N/D	N/D
CFT	N/D	6	6	6	7	N/D	N/D	N/D	N/D
Instituto	N/D	6	6	6	7	7	7	7	7
Universitaria	N/D	7	7	7	8	8	8	8	8

De esta forma se calculan dos puntajes (el de bienes y el de nivel de estudio del jefe de hogar) que van en una escala de 0 a 1000. El puntaje final de un hogar será el promedio simple de ambos.



**ILUSTRACIÓN 31: DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DE LOS PUNTAJES EN LA GRAN SANTIAGO(50)**

Los cortes de los puntajes para la construcción de los distintos Grupos Socio Económicos fueron calculados calibrando dicha distribución acumulada con las proporciones de la población que pertenecen, en el Gran Santiago<sup>24</sup>, a dichos grupos (ver Tabla 23).

Dado que los cortes originales del estudio fueron realizados para la construcción de Grupos Socio Económicos relevantes para estudios de mercado, no necesariamente son concordantes con los Grupos Socio Económicos del SIMCE, que están asociados a vulnerabilidad. Sin embargo, como mencionamos anteriormente, ambas clasificaciones dependen del ingreso y del nivel de educación, que son los determinantes del puntaje final del hogar. Por tanto, resulta razonable suponer que en ambos casos dicho puntaje es una buena variable discriminante de los Grupos Socio Económicos. Sin embargo, las proporciones de la población de los dos tipos de clasificación no necesariamente son las mismas.

**TABLA 23: PERCENTILES GSE GRAN SANTIAGO Y PUNTAJES DE CORTE(50)**

GSE	Peso (%)	Percentil	Mínimo	Máximo
ABC1	10%	100%	> 857	1000
C2	20%	90%	> 603	857
C3	25%	70%	> 399	603
D	35%	45%	> 98	399
E	10%	10%	0	98

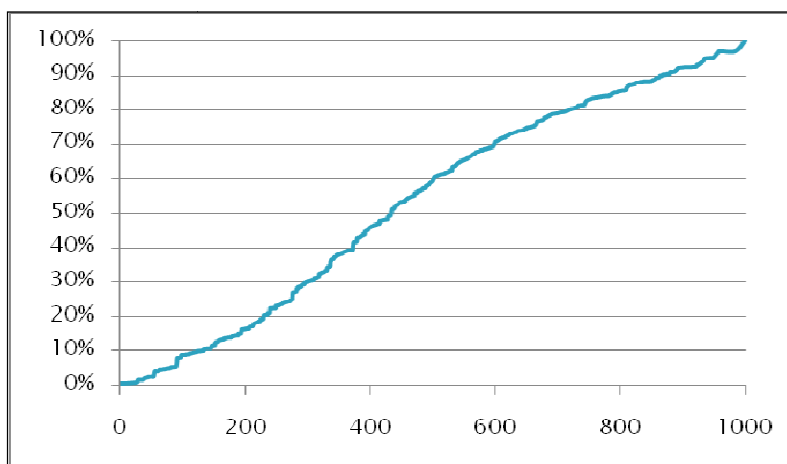
<sup>24</sup> Se entiende por Gran Santiago las 32 comunas de la provincia de Santiago más Puente Alto y San Bernardo.

Utilizando la información de los Grupos Socio Económicos asociados al SIMCE y la matrícula de los establecimientos es posible calcular, a nivel agregado, la proporción de estudiantes que pertenece a cada Grupo Socio Económico. Para el Gran Santiago, las proporciones se resumen en la Tabla 24.

**TABLA 24: GSE DE ESTUDIANTES GRAN SANTIAGO<sup>25</sup>**

GSE	Absoluto	Porcentual	Acumulado
Sin GSE	14.482		
A	57.580	5%	5%
B	323.415	31%	36%
C	355.358	34%	70%
D	190.379	18%	88%
E	123.309	12%	100%
Total	1.050.041		

Con estas nuevas proporciones es posible calcular cortes que se ajusten a los Grupos Socio Económicos relevantes para educación. En la Ilustración 32 se observa el gráfico de la distribución acumulada de los puntajes para el Gran Santiago, considerando solamente la población relevante (entre 6 y 17 años). Los cortes de dicha distribución que emulan las proporciones requeridas se resumen en la Tabla 25.



**ILUSTRACIÓN 32: DISTRIBUCIÓN ACUMULADA DE PUNTAJES DE LA POBLACIÓN RELEVANTE DEL GRAN SANTIAGO**

**TABLA 25: PUNTAJES DE CORTE GSE POBLACIÓN RELEVANTE**

GSE	Mínimo	Máximo	Acumulado
A	0	75	5%
B	75	336	36%

<sup>25</sup> En base a datos del SIMCE (grupo socio económico) y matrícula SIGE 2009.

GSE	Mínimo	Máximo	Acumulado
C	336	598	70%
D	598	831	88%
E	831	1000	100%

A modo de validación es posible contrastar los resultados de la metodología comparándolos a nivel nacional con los Grupos Socio Económicos del SIMCE y las matrículas relevantes. Los resultados son satisfactoriamente similares (ver Tabla 26).

**TABLA 26: COMPARACIÓN GSE SIMCE Y METODOLOGÍA AIM**

GSE	SIMCE		Teórico	
	Absoluto	Porcentual	Absoluto	Porcentual
A	417.765	13,40%	440.099	13,46%
B	1.070.613	34,34%	1.126.958	34,46%
C	933.498	29,95%	1.015.266	31,05%
D	471.809	15,13%	442.904	13,54%
E	223.658	7,17%	244.936	7,49%
Total	3.117.343		3.270.163	

Con esto se logra calcular el Grupo Socio Económico de cada hogar. Para calcular el GSE de una manzana (o cluster de manzanas) se considera la moda de la población que habita en él<sup>26</sup>. Por lo tanto, para cada manzana se calcula la cantidad de personas que viven en hogares con un respectivo GSE, y el grupo con mayor población es el representativo de la manzana. Es preferible considerar la moda por sobre el promedio debido a que con este último se generan distorsiones en los grupos extremos (se subestima la cantidad de manzanas de dichos GSE).

A nivel nacional la proporción de estudiantes, realizando la aproximación anterior (asignando un grupo uniforme a cada manzana o cluster), se resume en la Tabla 27. Existen claras diferencias con la consideración por hogar, particularmente en los grupos intermedios, debido a que en general tienden a compartir manzanas con alta densidad. La aproximación por moda ignora el grupo en segundo lugar, sin embargo es un error razonable para tener una aproximación de los GSE por manzana.

<sup>26</sup> Solo considera la población relevante para el cálculo de la moda, o sea los habitantes con edad entre 6 y 17 años.

**TABLA 27: APROXIMACIÓN DE GSE POR MANZANA**

GSE	Absoluto	Porcentual
A	237.434	7,6%
B	1.367.360	43,7%
C	1.066.603	34,1%
D	256.564	8,2%
E	203.700	6,5%
Total	3.131.661 <sup>27</sup>	

### 10.3 Anexo C: Transformación de Coordenadas

En la base de datos Corporativa(41) fue necesario realizar correcciones en las coordenadas. De un total de 10.025 coordenadas en dicha base (considerando establecimientos con y sin matrícula relevante) 1.234 estaban incorrectas.

Dichos errores están asociados a la existencia de distintos tipos de Sistemas de Referencia Geográfica. La mayoría de las bases trabajan con el Sistema Proyectado UTM WGS 1984. Dicho sistema consiste en una proyección en el plano del mapa terráqueo. Una gran ventaja de este sistema es que las distancias en él están medidas directamente en metros.

Este sistema de coordenadas divide el mapa de la tierra en 60 husos. Como se puede ver en la Ilustración 33 por Chile continental pasan dos husos: el 19S y el 18S. Esta subdivisión es referencial, pues es posible escribir las coordenadas de todo el mundo en un mismo huso. Sin embargo, coordenadas en distintos husos tienen valores diferentes, y es necesario unificarlas para proyectarlas en un mismo mapa.

En este caso algunas coordenadas habían sido escritas en el Huso 19S y otras en 18S. Por lo tanto, se unificaron todas en el Huso 19S.

<sup>27</sup> Este valor difiere del anterior (3.270.163) debido a que es un cálculo realizado solo sobre las manzanas y cluster con georeferencia.

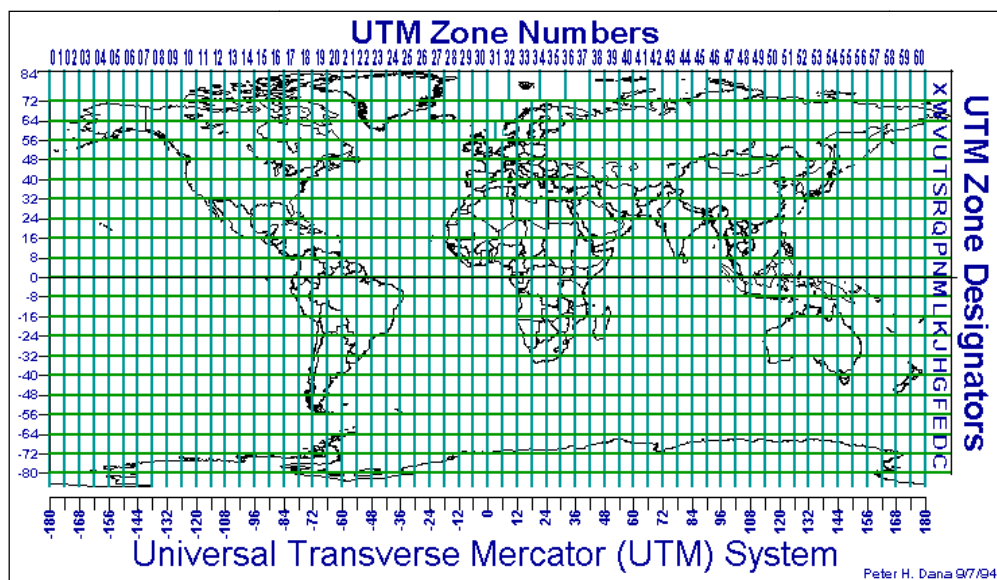


ILUSTRACIÓN 33: HUSOS UTM WGS 84(51)

Por otro lado, las coordenadas de Mapcity-SIMCE(40) venían en Sistema Geográfico (latitud / longitud), por lo que fue necesario transformarlas, para hacer dichas coordenadas comparables con las otras.

### 10.4 Anexo D: Clasificación de Establecimientos por Grado Impartido

TABLA 28: AGRUPACIÓN DE ESTABLECIMIENTOS POR GRADOS CON MATRÍCULA (LOS 30 PRIMEROS)<sup>28</sup>

P	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	M 1	M 2	M 3	M 4	Cantidad de Establecimientos	Promedio Alumnos Total
													3188	396,3
													1366	851,2
													1034	27,4
													851	55,4
													737	139,4
													732	663,6
													240	591,4
													239	122,9
													129	25,5
													114	11,3
													97	11,9
													95	11,1
													92	12,0
													88	11,8

<sup>28</sup> En base a la matrícula SIGE 2009.

P	B 1	B 2	B 3	B 4	B 5	B 6	B 7	B 8	M 1	M 2	M 3	M 4	Cantidad de Establecimientos	Promedio Alumnos Total
													75	899,4
													64	569,3
													64	43,5
													58	143,5
													46	273,4
													46	557,7
													43	210,8
													36	87,9
													33	8,1
													32	8,1
													30	7,2
													30	7,7
													30	577,8

En la Tabla 28 se muestran los primeros 30 tipos de establecimientos agrupados según los grados impartidos. Son pintadas las casillas correspondientes a los grados en que dicho tipo tiene matrícula. El primer nivel corresponde a establecimientos que no tienen matrícula en los tipos de enseñanza relevantes. La columna 'P' corresponde a educación parvularia, que si bien no fue incluida finalmente en el estudio si fue evaluada. Se muestra además la cantidad de establecimientos en dicha categoría y la matrícula relevante promedio de dichos establecimientos.