



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA  
INGENIERÍA DE SISTEMAS – INVESTIGACIÓN DE OPERACIONES

UNA METODOLOGÍA PARA LA LOCALIZACIÓN DE ESCUELAS

TESIS  
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:  
FÍS. JOSUÉ ROBERTO ESQUIVEL BALSECA

TUTOR PRINCIPAL:  
DRA. HÉRICA SÁNCHEZ LARIOS  
FACULTAD DE INGENIERÍA

CIUDAD DE MÉXICO, OCTUBRE 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

**JURADO ASIGNADO:**

Presidente: DR. SUÁREZ ROCHA JAVIER  
Secretario: DRA. FLORES DE LA MOTA IDALIA  
Vocal: DRA. SÁNCHEZ LARIOS HÉRICA  
1<sup>er.</sup> Suplente: DR. GUILLEN BURGUETE SERVIO TULIO  
2<sup>d o.</sup> Suplente: DRA. RODRÍGUEZ VÁZQUEZ KATYA

Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Ingeniería

**TUTOR DE TESIS:**

---

**DRA. HÉRICA SÁNCHEZ LARIOS**

## AGRADECIMIENTOS

*Por todo el apoyo que he recibido de ellos, agradezco a mis padres, hermanos, sobrinos y demás familiares, a mis amigos y a mis profesores. Valoro a toda persona (aunque no esté) que ha dejado una buena huella en mí.*

*Gracias a el Conacyt, el CONAPO, el INEGI, el municipio de Santa María Jalapa del Marqués, la Iniciativa Académica en México de IBM, y la UNAM. Sin estos, este trabajo no estaría concluido.*



## RESUMEN

En esta tesis se propone una metodología para encontrar la prescripción óptima del sistema de escuelas públicas en zonas en las que existen escuelas en condiciones vulnerables. La metodología consta de 6 pasos: determinación de los objetos de estudio, cálculo de la población de interés a futuro, obtención de información de escuelas, mediciones geográficas, modelo de cobertura y modelo de localización. Con prescripción óptima del sistema de escuelas se quiere decir: prescribir la localización de escuelas, la dimensionalización del tamaño de las escuelas, la asignación de los estudiantes a las escuelas y la distritación de la zona estudiada; optimizando:

- a) la distancia de recorrido de los estudiantes desde sus casas hasta las escuelas asignadas,
- b) los costos de infraestructura y operación de las aulas,
- c) el número de estudiantes por clase dentro de un rango adecuado.

Se presenta un caso de estudio, el municipio de Santa María Jalapa del Marqués (afectado por un desastre natural). En la búsqueda del sistema de escuelas públicas óptimo de esta zona se hace uso de Mapa Digital de México del INEGI, Lingo de LINDO Systems Inc., y IBM ILOG CPLEX Optimization Studio de IBM.

## **ABSTRACT**

In this thesis is proposed a methodology that helps to find the public school system optimal prescription in zones in which there are schools in vulnerable conditions. This methodology consists of six phases: definition of the studio objects, calculus of the interesting future population, obtaining information about schools, geography measures, set covering model, and location model. Optimal prescription means to prescribe the school location, school sizing, allocation of students to the schools, and districting of the area under study; optimizing:

- a) the distance travelled of the students (from their house to the allocated school)
- b) the costs of infrastructure and operating classrooms
- c) the number of students per class within a appropriate range.

A case study is showed: Santa María Jalapa del Marqués municipality that was affected by a natural disaster. In the search of the optimal public school system of this zone were employed Mapa Digital de México from the INEGI, Lingo from LINDO Systems Inc., and IBM ILOG CPLEX Optimization Studio from IBM.

## ÍNDICE

<b>OBJETIVOS</b>	<b>13</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
<b>1. EL PROBLEMA DE LOCALIZACIÓN</b>	<b>18</b>
1.1. El problema de localización de escuelas . . . . .	27
1.2. Programación lineal multiobjetivo . . . . .	33
<b>2. ESTADO DEL ARTE</b>	<b>38</b>
<b>3. METODOLOGÍA PROPUESTA</b>	<b>57</b>
3.1. Determinación de los objetos de estudio . . . . .	59
3.2. Cálculo de la población de interés a futuro . . . . .	61
3.3. Obtención de información de escuelas . . . . .	64
3.4. Mediciones geográficas . . . . .	66
3.5. Modelo de cobertura . . . . .	67
3.6. Modelo de localización . . . . .	71
<b>4. CASO DE ESTUDIO</b>	<b>80</b>
4.1. Determinación de los objetos de estudio . . . . .	81
4.2. Cálculo de la población de interés a futuro . . . . .	84
4.3. Obtención de información de escuelas . . . . .	87
4.4. Mediciones geográficas . . . . .	89
4.5. Modelo de cobertura . . . . .	112
4.6. Modelo de localización . . . . .	115
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>154</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>161</b>
ANEXO A . . . . .	161
ANEXO B . . . . .	168
ANEXO C . . . . .	180
ANEXO D . . . . .	184
ANEXO E . . . . .	185
 <b>BIBLIOGRAFÍA</b>	 <b>190</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Cálculo de población de interés a futuro . . . . .	62
Figura 2.	Zona elegida como objeto de estudio . . . . .	81
Figura 3.	Oaxaca en México . . . . .	82
Figura 4.	Santa María Jalapa del Marqués en Oaxaca . . . . .	82
Figura 5.	Bloques de Santa María Jalapa del Marqués . . . . .	83
Figura 6.	Ejemplo del cálculo de población de interés a futuro . . . . .	85
Figura 7.	Distancia entre dos bloques . . . . .	90
Figura 8.	Asignación A de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	137
Figura 9.	Asignación A de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	138
Figura 10.	Asignación B de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	139
Figura 11.	Asignación B de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	140
Figura 12.	Asignación C de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	141
Figura 13.	Asignación C de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	142
Figura 14.	Asignación D de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	143
Figura 15.	Asignación D de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	144
Figura 16.	Asignación E de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	145
Figura 17.	Asignación E de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	146
Figura 18.	Asignación F de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	147
Figura 19.	Asignación F de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	148
Figura 20.	Asignación G de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	149
Figura 21.	Asignación G de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	150
Figura 22.	Asignación H de estudiantes de manzanas urbanas (g = 01) .	151
Figura 23.	Asignación H de estudiantes de localidades rurales (g = 01) .	152
Figura 24.	Encuesta . . . . .	167

Figura 25. Modelo de cobertura en Lingo . . . . .	184
Figura 26. Archivo de datos del modelo de localización en Cplex . . . . .	190

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Metodologías consultadas y sus características . . . . .	56
Tabla 2.	Índices del modelo de cobertura . . . . .	69
Tabla 3.	Parámetros del modelo de cobertura . . . . .	69
Tabla 4.	Variables del modelo de cobertura . . . . .	69
Tabla 5.	Parámetros del modelo de localización . . . . .	72
Tabla 6.	Índices del modelo de localización . . . . .	73
Tabla 7.	Variables del modelo de localización . . . . .	73
Tabla 8.	Condición de las aulas . . . . .	89
Tabla 9.	Distancias en el nivel educativo preescolar 1 . . . . .	94
Tabla 10.	Distancias en el nivel educativo preescolar 2 . . . . .	98
Tabla 11.	Distancias en el nivel educativo primaria 1 . . . . .	102
Tabla 12.	Distancias en el nivel educativo primaria 2 . . . . .	106
Tabla 13.	Distancias en el nivel educativo secundaria . . . . .	108
Tabla 14.	Distancias en el nivel educativo medio superior . . . . .	112
Tabla 15.	Distancias críticas . . . . .	113
Tabla 16.	Prescripción del modelo de cobertura a sus funciones objetivo	114
Tabla 17.	Escuelas candidatas nuevas . . . . .	114
Tabla 18.	Grados escolares del caso de estudio . . . . .	116
Tabla 19.	Agrupaciones y configuraciones del caso de estudio . . . . .	116
Tabla 20.	Parámetros del caso de estudio . . . . .	117
Tabla 21.	Condiciones de las aulas del caso de estudio . . . . .	118
Tabla 22.	Costos y matrícula mínima del caso de estudio . . . . .	119
Tabla 23.	Ponderación de las funciones objetivo . . . . .	119
Tabla 24.	Factores de normalización de las funciones objetivo . . . . .	120

Tabla 25.	Lectura de las prescripciones . . . . .	121
Tabla 26.	Prescripción en el nivel educativo preescolar . . . . .	122
Tabla 27.	Prescripción en el nivel educativo primaria . . . . .	123
Tabla 28.	Prescripción en el nivel educativo secundaria . . . . .	124
Tabla 29.	Prescripción en el nivel educativo medio superior . . . . .	124
Tabla 30.	Indicadores en el nivel educativo preescolar . . . . .	125
Tabla 31.	Indicadores en el nivel educativo primaria . . . . .	125
Tabla 32.	Indicadores en el nivel educativo secundaria . . . . .	126
Tabla 33.	Indicadores en el nivel educativo medio superior . . . . .	126
Tabla 34.	Asignación de estudiantes por bloques . . . . .	136
Tabla 35.	Población de interés a futuro . . . . .	180
Tabla 36.	Factor de conversión . . . . .	183



## **OBJETIVOS**

El objetivo general en esta tesis es proponer una metodología que permita establecer un sistema de escuelas públicas (desde el nivel educativo preescolar hasta el nivel medio superior) en cualquier zona que se encuentre en condiciones lastimosas (ya sea por los efectos de un desastre o por la escasez de escuelas) dentro de un horizonte temporal. Este sistema de escuelas públicas está definido por la localización de las escuelas, la dimensionalización de las escuelas, la asignación de los estudiantes a las escuelas y la distritación de la zona en áreas de influencia de cada escuela.

Esta metodología tiene tres objetivos específicos: reducir la distancia que los estudiantes recorren para llegar de su hogar a la escuela asignada; disminuir los costos de construcción, reconstrucción y operación de escuelas; y mantener el número de estudiantes en cada clase dentro de un rango adecuado.

## INTRODUCCIÓN

La convención sobre los derechos del niño es la base de normas y leyes sobre la infancia en todo el mundo. Este tratado internacional representa un acuerdo sin precedentes entre diferentes países. El artículo 28 de este instrumento señala que todos los países miembros, de esta convención, reconocen a la educación como un derecho del niño. En este mismo artículo se señala que el estado debe implantar la enseñanza primaria obligatoria y gratuita para todos; fomentar el desarrollo de la enseñanza secundaria (incluida la enseñanza general y profesional), hacer que todos los niños dispongan de esta enseñanza y tengan acceso a ella y adoptar medidas necesarias tales como la implantación de la enseñanza gratuita y la concesión de asistencia financiera en caso de necesidad; adoptar medidas para fomentar la asistencia regular a las escuelas y reducir las tasas de deserción escolar; y velar por que la disciplina escolar se administre de modo compatible con la dignidad humana del niño. **(Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2015, pp. 6-7 y 19)**

El artículo 29 de la misma herramienta señala que la educación del niño debe estar encaminada a desarrollar la personalidad, las aptitudes y la capacidad mental y física del niño hasta el máximo de sus posibilidades. La Convención sobre los Derechos del Niño define por niño todo ser humano menor de 18 años de edad, salvo que en virtud de la ley que le sea aplicable haya alcanzado antes la mayoría de edad. México es parte de esta convención por lo que debe acatarse a lo indicado en cada uno de sus artículos (incluyendo el artículo 28 y 29). **(Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2015, p. 20)**

Sin embargo, el hecho de pertenecer a una convención no sana la situación en la

que se encuentren sus países. No es difícil contextualizar que en México el problema referente a la educación es grande. El bajo nivel académico de los estudiantes, la deserción escolar, y la falta de escuelas conforman sólo una parte de la problemática de la educación en México.

Desde el año 2000 la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés) lanzó un estudio trienal sobre los alumnos de alrededor de 15 años en todo el mundo denominado Programa para la Evaluación Internacional de Alumnos (PISA). Esta prueba evalúa hasta qué punto los estudiantes de alrededor de 15 años, han adquirido los conocimientos y habilidades fundamentales para una participación plena en las sociedades modernas. La evaluación se centra en las materias escolares básicas de ciencia, lectura y matemáticas permitiendo obtener alrededor de 750 puntos. **(Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos[OECD], 2015, pp. 3-4)**

En el último reporte de la evaluación respecto a las pruebas PISA 2015, aproximadamente 540.000 estudiantes realizaron estas pruebas, en una muestra representativa de alrededor de 29 millones de jóvenes de alrededor de 15 años de las escuelas de los 72 países y economías participantes (más allá de los miembros de la OECD). **(Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OECD], 2015, pp. 3-4)**

De los países y economías participantes, 8 son latinoamericanos (México entre ellos). Todos ellos se encuentran por debajo de la media de los miembros de la OECD en cualquiera de las materias escolares básicas. Las mejores posiciones alcanzadas por un país latinoamericano fueron 52 en matemáticas, 48 en ciencias y 45 en lectura (todas ellas alcanzadas por Uruguay). México se ubicó en los lugares 58 en matemáticas (con 416 puntos), 60 en ciencias (con 423 puntos) y 57 (con 408 puntos) en lectura. Las pruebas PISA son sólo un ejemplo, además de otros indicios de que en México existe un bajo nivel educativo. **(Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos[OECD], 2015, pp. 5-9)**

Dentro de un contexto nacional, la situación empeora en algunas zonas específicas, como aquellas afectadas por la pobreza y marginación social, regularmente este es el caso de muchas zonas rurales. Esto no quiere decir que las escuelas de zonas urbanas estén libres de ubicarse entre las peores evaluadas del país. Diversas causas producen este bajo nivel académico:

De un reporte solicitado al Instituto Estatal de Educación Pública de Oaxaca [IEEEP-O], a través del portal de transparencia, se sabe que existen algunas zonas del país, al menos hasta el 2018, donde el área de influencia de una escuela es de 5 kilómetros. Estudiantes de zonas montañosas muchas veces se ven obligados a caminar cerca de dos horas para llegar a su escuela.

Como ya se mencionó, la educación debe ser accesible y proporcionar los servicios básicos necesarios para lograr el desarrollo intelectual de los estudiantes. No obstante, muchas escuelas operan en espacios mal condicionados y que no son aptos para los estudiantes, inclusive, pudiendo poner en riesgo la integridad de los estudiantes.

En el 2013 había 32 estudiantes por personal docente en las escuelas mexicanas de educación secundaria, esto es, el número más alto entre los países de la OECD y países asociados, y más del doble que el promedio de la OECD. Los números estudiantes-personal docente en la educación primaria y educación media superior también fueron más altos en México que en ningún otro país de la OECD o asociado. Del mismo reporte señalado en el penúltimo párrafo, se sabe que para estas mismas escuelas, en áreas rurales y en el año 2018, el número de alumnos permisibles en un mismo grupo era de hasta 45 alumnos. **(Gurría A., 2016)**

Las grandes distancias a las que los alumnos se ven obligados a recorrer para llegar a sus escuelas, las malas condiciones de infraestructura escolar, y el exceso

de alumnos en un grupo, no son los únicos factores que afectan a la educación en México, sin embargo, pesan entre las causas del bajo nivel educativo en México.

En esta tesis se propone una metodología que coadyuva en la mejora de las condiciones necesarias para un desarrollo educativo competente. Esta metodología no pretende remediar la situación educativa en México, pero si se enfoca en enmendar tres aspectos, los cuales aunque no son suficientes si son necesarios para establecer un sistema educativo eficiente. Estos tres aspectos son: las distancias que los estudiantes recorren para llegar a sus escuelas, la infraestructura y servicios básicos de las escuelas, y la cantidad de estudiantes por aula en las escuelas.

La tesis está desarrollada en 4 capítulos. En el primer capítulo se exponen las consideraciones teóricas empleadas en la metodología propuesta, también se explican las técnicas para resolver algunas de las etapas inherentes en esta metodología; el segundo capítulo es un resumen de los trabajos precedentes realizados en la materia; el tercer capítulo describe de una manera detallada la metodología propuesta; en el cuarto capítulo se presenta la aplicación de la metodología a un caso de estudio, así como la prescripción del sistema de escuelas óptimo para ese caso de estudio.

## CAPÍTULO 1

### EL PROBLEMA DE LOCALIZACIÓN

El problema de localización determina dónde localizar un conjunto de objetos; dichos objetos son llamados instalaciones. Cada instalación ofrecerá un servicio (en el caso de esta tesis las instalaciones son escuelas que ofrecen el servicio educativo) e interactuará con un grupo formado por otro tipo de objetos, quienes ya tienen una localización fija, llamados instalaciones existentes y quienes serán provistas del servicio antes mencionado. Otros nombres que las instalaciones existentes pueden recibir son sitios de demanda o clientes. En este trabajo de tesis tomaremos esta convención para llamar sitios de demanda a los sitios que deben ser satisfechos con los servicios de una escuela. Esta convención es considerada por Love. *(Love, Morris & Wesolowsky, 1988, p. 1)*

Los modelos de localización (la abstracción del problema de localización y de lo que se quiere de este) son diseñados para responder varias preguntas: ¿Cuántas instalaciones deben ser localizadas?, ¿Dónde debe ser localizada cada instalación?, ¿Qué tan grande debe ser cada instalación?, ¿Cómo debe ser asignada la demanda de los sitios de demanda a las instalaciones?, entre otras. La respuesta a todas las preguntas que se formulan en un problema de localización está ligada al contexto en el cual el problema de localización está siendo resuelto y los objetivos subyacentes al problema de localización. *(Daskin, 2013, p. 3)*

Un problema de localización puede ser abordado como un problema de programación lineal. Matemáticamente en estos problemas se busca minimizar (en ocasiones se trata de maximizar) una función lineal tal que el vector de variables de

decisiones  $x = (x_1, \dots, x_n) \in \Lambda$  que minimiza tal función, también deba satisfacer ciertas restricciones ( $p$  ecuaciones y  $m$  desigualdades lineales). Su formulación es de la siguiente manera:

$$\min f(x) \quad (1.1)$$

$$g_i \leq 0 \quad i = \{1, \dots, m\} \quad (1.2)$$

$$h_j = 0 \quad j = \{1, \dots, p\} \quad (1.3)$$

$$x \in \Lambda \quad (1.4)$$

Los problemas de localización involucran varias etapas: la etapa de la formulación del problema; la etapa del modelado matemático; la etapa de la derivación de una solución; la etapa de la evaluación, análisis y posible reconstrucción del modelo; y la etapa de la implementación. Es importante aclarar que resolver un problema de localización como un problema de programación lineal no es la única forma, pero es de las más comunes (de hecho es como se resuelve el problema de localización planteado en esta tesis), por lo que se explicarán las etapas que tienen estos problemas (**Bazaraa, Jarvis & Sherali, 2010, pp. 7-8**):

♦ *Formulación del problema* Se refiere al estudio detallado del sistema, ya que para poder formular un sistema (o parte de él) hay que conocerlo bien, de otro modo habrá partes que pueden ser ignoradas y consecuentemente, la formulación del problema de programación lineal será menos adecuada al problema real. Para

esta etapa es necesario la identificación del problema específico que será modelado posteriormente con programación lineal para que así, y una vez realizada la recolección de datos se prosiga con la construcción del modelo.

◆ *Modelo matemático* Se realiza la construcción de la abstracción (o idealización) del problema. Hay que acercarnos a la realidad del sistema de tal manera que el modelo logre ser moldeado como un modelo matemático tratable (no tiene caso formular el problema de programación lineal si este será imposible de resolver). A partir de los datos, se deben determinar las limitaciones (que serán traducidas a restricciones), las variables (las respuestas cuantitativas a nuestro problema) y la función objetivo.

◆ *Derivar una solución* Debe existir una técnica que permita obtener el óptimo del modelo (en ocasiones hay más de un óptimo) o bien una solución heurística (una solución aproximada al óptimo) de la cual pueda ser evaluada su calidad como solución al problema original de programación lineal. Siempre hay que tomar en cuenta que la solución dada al modelo es eso, la solución al modelo; y no quiere decir que sea la solución al sistema, del cual el modelo fue basado, pues en ocasiones el modelo no representa al sistema de la manera más adecuada.

◆ *Evaluación, análisis y posible reconstrucción del problema* Aquí se realiza una renovación del modelo de programación lineal, si fuera necesaria; ya sea para simplificarlo o para enriquecerlo (considerando características importantes que no se habían incluido en el modelo de programación lineal). También se debe examinar la solución del modelo y la sensibilidad en los parámetros relevantes del sistema; esto con la posibilidad de realizar una comparación usando experiencias anteriores y/o datos históricos (siempre y cuando sea posible).

◆ *Implementación* Una vez realizado el trabajo teórico se debe inmiscuirlo a la realidad, es decir, la solución al problema de programación lineal debe ser una ayuda en el proceso de toma de decisiones. Esto no quiere decir que la solución



al problema de programación lineal deba sustituir al tomador de decisiones, sino que será una ayuda. Ésta deberá estar siendo revisada (específicamente sus parámetros, restricciones y suposiciones) periódicamente debido a que los factores del sistema modelado pueden modificarse; y lo importante es mantener el modelo actualizado, relevante y válido al sistema modelado. En esta tesis se prescribe una solución a un problema de localización de escuelas, no obstante, no existe (por ahora) alguna identidad interesada en la implementación de tal prescripción.

Los problemas de localización tienen características que pueden ayudar a clasificarlos de distintas maneras. Esto es útil porque al ser clasificado el problema, entonces su modelo también podrá ser clasificado, y entonces problemas de localización diferentes, pero dentro de la misma clasificación tendrán restricciones, variables y funciones objetivos similares en sus respectivos modelos. Algunas de las clasificaciones, por las necesidades que exige el problema de localización, dividen a los problemas de localización de la siguiente manera: **(Daskin, 2013, pp. 11-20; Love, Morris & Wesolowsky, 1988, pp. 2-3; Coello, Van Veldhuizen & Lamont, 2007, p. 5):**

♠ *Número de instalaciones* En relación con el número de instalaciones, hay problemas de localización de una única instalación, o de múltiples instalaciones. Los primeros pretenden hallar la localización de sólo una instalación. Por otro lado, los problemas de localización de múltiples instalaciones surgen cuando hay dos o más instalaciones para ser localizadas simultáneamente, cada una interactuando con los clientes y entre ellas, en este caso la cantidad de flujo del servicio entre las instalaciones y los clientes puede no ser conocido hasta después de que la localización de las instalaciones haya sido determinada.

♠ *Variabilidad en el tiempo* Pueden ser estáticos o dinámicos. En los modelos estáticos los datos que alimentan al modelo no dependen del tiempo, o bien el problema a resolver sólo considera un periodo representativo de la realidad. En los modelos dinámicos los datos que alimentan al modelo dependen del tiempo,

y consecuentemente los resultados, estos modelos representan problemas donde hay periodos múltiples de tiempo, en estos casos, no sólo se responde a la pregunta de dónde ubicar una instalación, si no también debe responderse cuándo instalarla, o en su caso, cerrarla (todo esto dentro de un periodo de planeación).

♠ *Certidumbre de sus datos* Un modelo de localización puede ser determinístico o probabilístico. En los modelos determinísticos existe certeza en los datos que alimentan al modelo. En los probabilísticos existe incertidumbre en estos datos y por lo tanto están asociados a una probabilidad.

♠ *Número de servicios que se ofrece* En muchos modelos de localización es importante diferenciar entre los servicios que se ofrecen, porque, por ejemplo, dos clientes pueden no requerir de un mismo tipo de servicio. Aquellos modelos en los que se considera más de un tipo de servicio son llamados modelos de múltiples productos. Por otro lado, hay modelos de localización en donde el servicio que se ofrece es indistinguible.

♠ *Sector Involucrado* Cuando se considera un problema de localización en el sector privado, la función objetivo viene regularmente medida en unidades monetarias, tratando de beneficiar a la empresa, su administración y las entidades que invierten, aquí los beneficiados y los inversores son los mismos. En cambio, en el sector público, existen muchos costos y beneficios que no son precisamente monetarios, estos beneficios casi siempre no favorecen a los inversores de capital (o al menos, no de forma directa) y, por lo tanto, en este tipo de problemas de localización la etapa de implementación es más difícil de realizar.

♠ *Número de funciones objetivo* En muchos modelos de localización existe un único objetivo (derivado de minimizar la demanda que existe), por lo que estos problemas son conocidos como monobjetivo. Sin embargo, en la vida real los problemas muchas veces no dependen de un único factor, por lo que surgen los modelos multiobjetivo, en estos problemas existen varias funciones objetivo, que pueden

entrar en conflicto (mientras unas quieren minimizar cierto recurso, otras buscan maximizar el mismo recurso), por lo que se busca encontrar la “mejor” localización tal que cada uno de los objetivos tenga un valor aceptable y se satisfagan todas las restricciones del problema.

♠ *Elasticidad de la demanda* Existen problemas donde el nivel del servicio puede atraer, o disminuir, la demanda, los modelos a estos problemas deberían considerar una demanda elástica. En otros modelos la demanda es inelástica, eso quiere decir que la demanda del problema es independiente al nivel de servicio que las instalaciones ofrecen. El hecho de que una demanda sea elástica muchas veces depende del tipo de instalaciones, de su localización y de su tamaño.

♠ *Limitaciones en la capacidad de las instalaciones* Algunos modelos de localización consideran que la capacidad de servicio a ofrecer es ilimitada, esto podría ser por una simplificación en el problema, porque la demanda total en el problema no es una cantidad tan grande o porque la naturaleza del problema no exige considerar la capacidad. Otros modelos consideran un límite explícito en la capacidad de las instalaciones. Algunos otros modelos consideran el tamaño de las instalaciones como una variable en el modelo.

♠ *Asignación de las demandas* La asignación de demandas es un problema crítico en el modelado de los problemas de localización, pues muchas veces los clientes son asignados a la instalación más cercana, previniendo que las instalaciones tengan la capacidad para servir a la demanda, pero si la instalación más cercana no tiene la suficiente capacidad para atender puede darse que la demanda de un cliente sea dividida entre varias instalaciones resultando que una fracción de la demanda de un cliente sea atendida por la instalación más cercana y otra parte, siempre que la instalación más cercana ya está completamente ocupada, será atendida por instalaciones más remotas. El hecho de fraccionar la demanda de un mismo cliente no se permite en ciertos modelos, por lo que deben incluirse más restricciones tal que se asegure que toda la demanda, de un mismo cliente, sea

asignada a una única instalación, aunque esto último podría provocar que existan clientes asignados a instalaciones distintas de las más cercanas.

♠ *Jerarquización de las instalaciones* Existen problemas de localización donde las instalaciones implicadas podrían necesitar una jerarquización y consecuentemente deba haber interacciones entre instalaciones de diferentes niveles jerárquicos, por lo que el modelo debería considerar estos niveles jerárquicos. Los elementos de cierto nivel jerárquico representarían clientes y los elementos del siguiente nivel jerárquico representarían las instalaciones, dando cabida a que los elementos de los niveles jerárquicos intermedios funcionen, simultáneamente, como clientes e instalaciones. Los niveles jerárquicos más altos podrían ofrecer los mismos servicios que ofrecen los niveles jerárquicos más bajos, este caso se conoce como jerarquías de instalaciones sucesivamente inclusivas; pero cuando los servicios, entre los distintos niveles jerárquicos, es distinto estamos ante jerarquías de instalaciones sucesivamente exclusivas. La mayoría de los modelos de localización estudiados no exigen esta jerarquización.

♠ *Deseabilidad* En la mayoría de los problemas de localización, el interés está en localizar instalaciones deseables, pues se busca incrementar la cercanía a un sector que necesita cierto servicio. Sin embargo, existen instalaciones que son consideradas indeseables, pues las personas las quieren tan lejos como sea posible de ellas, por ejemplo, los problemas de localización de residuos tóxicos o de centros penales.

El modelo de localización propuesto; dentro de la metodología propuesta con la que se aborda el problema de localización expuesto en esta tesis; busca instalar múltiples instalaciones, se plantea de manera estática y determinística, es un problema donde existen múltiples productos, está dirigido al sector público, es multi-objetivo, se expone con una demanda inelástica, limita explícitamente la capacidad de las instalaciones, permite fraccionar la demanda de un mismo cliente, no jerarquiza las instalaciones y pretende localizar instalaciones deseables.

La taxonomía de los modelos de localización, basada en gran parte en los supuestos del modelado sobre la configuración espacial de la demanda atendida y las instalaciones que proveen el servicio, ayuda a determinar cuáles algoritmos, o métodos, pueden servir para resolver los problemas de localización, pues problemas con la misma clasificación taxonómica utilizan algoritmos, o métodos, similares. Bajo esta taxonomía, los modelos de localización son divididos en modelos analíticos, discretos, continuos y de redes (**Daskin, 2013, pp. 20-26**):

♣ *Modelos analíticos* Suponen que la distribución de la demanda sobre el espacio está hecha de cierta manera, un ejemplo es cuando se asume que la demanda está distribuida uniformemente sobre el espacio. Los sitios candidatos a ser instalaciones pueden estar localizados en cualquier punto del espacio. Las suposiciones que este tipo de modelos hace son fuertes y para encontrar la solución se necesita usar cálculo, y aportan conocimientos sobre la estructura de la solución del modelo de localización.

**Yao & Murray (2014)** exponen un problema de localización con esta topología; en su artículo, con ayuda de sistemas de información geográficos, se busca localizar un único servicio en una región de demanda continua, para ello se divide la región de demanda en pequeños bloques y considerando que la demanda en cada una de estas subregiones es continua se distribuye, uniformemente, un conjunto finito de puntos de demanda en cada una de las regiones (el número de puntos localizados en cada bloque depende del valor de la demanda).

♣ *Modelos discretos* No hacen suposiciones particulares sobre la localización de los sitios de demanda y de los candidatos a ser instalaciones. Se tienen dos conjuntos; formados por los puntos, o coordenadas, de los sitios de demanda (primer conjunto) y de los sitios candidatos a ser instalaciones (segundo conjunto). Las distancias entre cualquier elemento del primer conjunto y cualquier elemento del segundo conjunto no necesariamente están adheridas a una fórmula particular.

Estos modelos, regularmente, están formulados como modelos de programación lineal entera (se requieren que las variables tomen valores enteros) y son resueltos usando métodos exactos o heurísticos. El modelo de localización propuesto en esta tesis se clasifica, dada su taxonomía, como un modelo discreto.

**Plane & Hendrick (1977)** resuelven un problema con esta estructura; estudian a 112 sitios candidatos a ser instalación (estaciones de bomberos) para atender 246 sitios de demanda (posibles infraestructuras a sufrir un incendio), donde cada punto de demanda está clasificado dentro de una de las 5 categorías posibles (de acuerdo al nivel de susceptibilidad, cada una de estas categorías exige un tiempo de respuesta mínimo). La función objetivo da prioridad de mantener estaciones de bomberos ya existentes, sin embargo, es posible que se abran nuevas estaciones de bomberos.

♣ *Modelos continuos* A pesar de su nombre, estos modelos asumen que la demanda ocurre en sitios discretos. Los sitios candidatos a instalaciones pueden ser localizados en cualquier punto del espacio. Para solucionar este tipo de modelos se usan procedimientos numéricos y optimización continua.

El ejemplo clásico de problemas con esta topología es el problema de *Weber*, que en su concepción original busca minimizar la suma de las distancias euclidianas ponderadas entre un único punto (la instalación a encontrar) y cada uno de los sitios de demanda (puntos ya fijos). (**Drezner & Hamacher, 2002, pp. 1-2**)

♣ *Modelos de localización en redes* Consideran que los sitios de demanda y los sitios candidatos a ser instalaciones se encuentran sobre una red. Regularmente los sitios de demanda son localizados en los nodos de la red y los sitios candidatos a ser instalaciones pueden estar localizados en los nodos o en las aristas de la red. Solucionar este tipo de problemas de localización utiliza algoritmos especializados y es considerado un campo fértil en la investigación.

Un ejemplo de un problema de esta naturaleza es el estudiado por **Melkote & Daskin (2001)**, en su obra se representa una red de carreteras como una gráfica no completa; en el primer escenario, se busca establecer instalaciones considerando, y sin considerar, la construcción de nuevos links (caminos) entre los nodos, la función objetivo minimiza costos de transporte entre los nodos, costos de construcción de nuevos caminos, y costos de establecer una instalación; el segundo escenario sólo minimiza costos de transporte, en cambio los costos de construir nuevas carreteras y de establecer las instalaciones están restringidos a un presupuesto.

### **1.1. El problema de localización de escuelas**

El problema de localización de escuelas es un problema donde se busca diseñar un sistema para definir dónde ubicar escuelas. Su solución también requiere saber cuántos y cuáles estudiantes deben asistir a cada una de las escuelas localizadas a fin de que se otorgue servicios escolares para la población de una región, por lo que implica la dimensionalización de las escuelas (determinar el tamaño de las clases y el número de ellas), ya sea como un parámetro preestablecido o como parte de la solución. La determinación de cuáles estudiantes asistirán a cuál escuela se puede ver como un problema de distritación, que se refiere al ajuste de los límites de la zona atendida por cada escuela dentro de un sistema, o red, escolar. Por lo tanto, el problema involucra varias tareas: localización, asignación, distritación, dimensionalización. (**Giesen, Rocha & Marianov, 2015, p. 273**)

Los problemas de localización de escuelas son un problema de localización muy particular, pues cada sistema escolar tiene un conjunto de peculiaridades y restricciones individuales que deben tomarse en cuenta, que varían significativamente de un caso a otro debido a las diferentes prioridades y políticas de los distintos sistemas escolares. Se complica aún más por el hecho de que diferentes estudiantes pertenecen a diferentes grados, que en general deben tratarse por separado, pero en los mismos edificios. (**Giesen, Rocha & Marianov, 2015, p. 273**)

El problema de localización de una escuela, en la práctica rara vez es un problema de localización de minimización de costos "puro". Los tomadores de decisiones pueden pertenecer a varios niveles de gobierno, y el horizonte temporal de la solución puede variar significativamente de un proyecto a otro (pueden haber horizontes perdurables a la durabilidad de ciertos gobiernos u horizontes a largo plazo que consideran beneficios más perdurables). Los objetivos son también muy diferentes (étnicos o de mezcla social; minimización de costos; con, o sin, transporte involucrado; minimización de la distancia máxima a la escuela más cercana; la optimización del equilibrio entre el tamaño de las escuelas, etc.). Por lo tanto, hay muchas formulaciones distintas. **(Giesen, Rocha & Marianov, 2015, pp. 273-274)**

A pesar de las diversas particularidades que puedan existir entre sistemas de escuelas distintos, existen características distintivas que se encuentran a menudo en la formulación del problema de localización de escuelas **(Giesen, Rocha & Marianov, 2015, pp. 274-276)**:

★ *Elección parental* En algunos sistemas escolares, los padres pueden elegir en cual escuela quieren registrar a sus hijos. Las reglas que rigen como esta elección puede tomar lugar varía significativamente de un sitio a otro y a menudo son sujeto a debates políticos tensos. **Krauss, Lee & Newman (2013)** se enfrentan a este tipo de decisiones.

★ *Limitaciones del tamaño de escuela* Por varias razones las restricciones al tamaño de la escuela pueden ser necesarias en el modelo de localización. En primer lugar, debido a los tamaños de los terrenos disponibles para la construcción y expansión de escuelas. En segundo lugar, debido a preocupaciones de gestión y de calidad: las escuelas muy pequeñas son ineficientes desde la perspectiva de los costos, y las escuelas muy grandes pueden ser más eficientes desde el punto de vista administrativo, pero más impersonales. La calidad también puede depender



del tamaño de la escuela. Por otro lado, debido a preocupaciones pedagógicas, el número de estudiantes por aula podría verse limitado. Existen teorías conflictivas sobre si es preferible tener escuelas estandarizadas (todas del mismo tamaño) o escuelas de diferentes tamaños para satisfacer las necesidades de cada comunidad específica. Dependiendo de qué lado del debate se encuentren los tomadores de decisiones, la restricción matemática correspondiente puede ser estricta o ser más relajada.

★ *Número de escuelas* Las restricciones en cuanto al número total de escuelas pueden ser una consecuencia de las restricciones del tamaño de la escuela, pero también pueden surgir por otras razones. Primero, puede haber un límite en los sitios donde nuevas escuelas pueden ser construidas, estableciendo exógenamente un número máximo de escuelas. Pero también puede haber restricciones sobre el cierre de escuelas, estableciendo así un número mínimo de escuelas. Estas decisiones a menudo están motivadas por razones políticas, en lugar de costos.

★ *Capacidad total del sistema* Los estudios de localización de escuelas a veces son iniciados debido a cambios esperados en la demanda (aumento o disminución) causados, a su vez, por cambios demográficos. En ocasiones, los estudios de localización de escuelas se desencadenan por la revisión de los sistemas escolares debido a las nuevas políticas relacionadas con la calidad, el objetivo de atraer a más estudiantes del sistema escolar privado a las escuelas públicas, u alguna otra razón. Es por eso que hay modelos que incluyen restricciones relacionadas con el cupo necesario para satisfacer toda la demanda del sistema escolar.

★ *Asignación de turnos* Algunos sistemas escolares operan en turnos únicos, en ese caso no es necesario que los estudiantes sean asignados a turnos, pero en otros casos los sistemas escolares operan en dos o incluso tres turnos, en estos casos los problemas de localización de escuelas también deben decidir cuáles grados escolares operarán en qué turno y cuáles estudiantes asistirán a la escuela en cada turno. En algunos casos, se establece una política que asigna estudiantes

mayores (o menores) juntos en el mismo turno, pero en otros casos, esta podría ser una variable de decisión. En este caso, los ahorros de costos se pueden lograr mediante una mejor utilización de la infraestructura y el sistema de transporte.

★ *Transporte* En muchos lugares es común que los gobiernos locales se encarguen de satisfacer las necesidades de transporte de las escuelas públicas. En estos casos, el costo de la localización óptima de las escuelas también debe tomar en cuenta los costos de transporte de estudiantes hacia, y desde, los colegios. Esto puede aportar una complejidad significativa al problema y, a menudo, requiere que se resuelvan dos problemas separados: un problema a largo plazo con costos de transporte aproximados y un problema a corto plazo que define las rutas de los autobuses. Las complejidades adicionales que surgen en estas situaciones incluyen la definición de reglas de acceso al transporte, que puede ser tan simples como una distancia máxima que los estudiantes pueden caminar para llegar a las estaciones; o tan complejas como especificar las horas del día en que los estudiantes pueden caminar, rutas peligrosas que deban ser recorridas estrictamente con transporte, o bien, caminado (esto puede deberse a una variedad de razones, desde el alto tráfico hasta los animales salvajes, incluyendo las áreas con altos índices de criminalidad), y las épocas del año en las que la ruta deba ser recorrida en transporte, o bien, caminando (generalmente esto es debido a las condiciones climáticas).

★ *Dotación del personal* En la mayoría de los casos, es beneficioso predefinir las proporciones de número de estudiantes por maestro, número de estudiantes por personal administrativo, número de estudiantes por escuela, etc; por lo que las restricciones relacionadas a estas proporciones son incluidas.

★ *Tipos de escuelas* Algunos sistemas escolares tienen tipos de escuelas predefinidos, por ejemplo, preescolar, primaria, secundaria, etc. En estos sistemas escolares es importante saber distinguir la necesidad de cada estudiante.

★ *Distritos escolares* Algunos sistemas escolares tienen reglas muy estrictas sobre la distritación escolar. Por ejemplo, todos los estudiantes deben asistir a la escuela más cercana a su hogar. O las reglas pueden incluir restricciones de capacidad<sup>1</sup> y contigüidad<sup>2</sup>; que son particularmente deseables cuando los padres deciden a cuáles escuelas van a asistir sus hijos, en función de la distancia entre los hogares y las escuelas. Las reglas también pueden incluir distancias máximas desde la residencia de cada estudiante hasta la escuela más cercana.

★ *Balance del perfil estudiantil* El tema del equilibrio étnico o social y los cuerpos estudiantiles mixtos puede ser un tema importante. Otros tipos de balance del perfil de los estudiantes pueden ser importantes, por ejemplo, cuando se trata de asignar recursos a los estudiantes con necesidades especiales. Estas necesidades especiales pueden ser problemas de aprendizaje o dificultades de lenguaje, que pueden ser particularmente importantes en los distritos escolares con grandes poblaciones aborígenes o de inmigrantes. Estos balances de perfil pueden complicar aun más la solución, pero son necesarios en la formulación del modelo de sistemas escolares que lo exijan.

★ *Ruralidad* En el caso del problema de la localización de escuelas para áreas rurales, la escasa población provoca complicaciones en las soluciones, ya que favorece la ubicación de muchas escuelas, evitando largas distancias de viaje, pero también resulta en escuelas de tamaños pequeños y menos eficientes. Estas escuelas deben permitir que estudiantes de distintos grados escolares formen parte de una misma clase, por lo que restricciones relacionadas a la permisibilidad de estas clases deben ser incluidas. Las tasas de deserción también tienden a ser más altas en las escuelas rurales, por la calidad y factores de viaje.

Dado el contexto del problema de localización abordado en esta tesis, en el respectivo modelo propuesto no es necesario considerar la elección parental, el trans-

---

<sup>1</sup>Ver el final de este subcapítulo

<sup>2</sup>Ver el final de este subcapítulo

porte escolar<sup>3</sup> o algún balance del perfil de los estudiantes. El modelo tampoco se restringe a operar con un número específico de escuelas; ni asigna estudiantes a diferentes turnos<sup>4</sup>.

Por otro lado, el modelo de localización propuesto está diseñado para cubrir toda la demanda de la zona estudiada, limita el tamaño de las escuelas, considera los tipos de escuela de manera independiente y la ruralidad de la zona estudiada (esto no quiere decir que el modelo de localización propuesto no pueda implementarse en zonas urbanas). Aunque no se establecen límites de forma estricta, se logra, de manera indirecta, una distribución escolar; y a pesar de que no se considera al personal administrativo, la proporción del número de estudiantes por clase (y consecuentemente, por maestro) está bien definida.

La compacidad se refiere a la minimización de la suma de los productos entre los cuadrados de las distancias  $d_{i,j}$  (de las casas  $j$  de los estudiantes a las escuelas  $i$  a las que son asignados) y el número de estudiantes asignado a cada escuela  $N_i$ ; es decir  $\min \sum_i \sum_j d_{i,j}^2 N_i$ . Algunos autores piensan que es mejor considerar la compacidad porque, por ejemplo, consideran mejor que dos estudiantes caminen 150 metros a que un sólo estudiante camine 300 metros. Los autores que utilizan la transmisión ( $\min \sum_i \sum_j d_{i,j} N_i$ ) en vez de compacidad, consideran que ambos casos del ejemplo son indistintos. En la metodología propuesta no se involucra a la contigüidad porque al hacerlo se pierde información sobre la transmisión (la cual representa uno de los objetivos de esta tesis). **(Franklin & Koenigsberg, 1973)**

La contigüidad se refiere a que la asignación de un bloque de hogares  $j$  a cierta escuela sea permitida siempre que exista otro bloque de hogares  $k$ , colindante a  $j$ , también asignado a dicha escuela. Algunos autores prefieren la contigüidad por el hecho de que cada estudiante debe tener al menos un vecino en la misma escuela. Restricciones referentes a la contigüidad pueden hacer que el costo

---

<sup>3</sup>Ver la sección de Conclusiones

<sup>4</sup>Ver la sección de Conclusiones

computacional se eleve, es por eso que la contigüidad no es considerada directamente en el modelo de localización propuesto (sin embargo, la forma en que la metodología propuesta está diseñada, permite que se alcance una contigüidad en la solución). (**Franklin & Koenigsberg, 1973**)

## 1.2. Programación lineal multiobjetivo

En este subcapítulo se explica qué es un problema multiobjetivo, y se abordarán dos de las diversas formas de resolverlos. Se decidió incluir este subcapítulo porque el problema de localización de escuelas planteado en esta tesis es un problema multiobjetivo.

Un problema multiobjetivo es definido como  $\min F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x))$  sujeto a  $g_i \leq 0$  y  $h_j = 0$ ; tal que  $x \in \Lambda$ .

Una solución minimiza (o maximiza) las componentes del vector  $F(x)$  donde  $x$  es el vector de variables de decisiones de dimensión  $n$ ,  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Las restricciones que toda solución debe cumplir están representadas por  $g_i \leq 0$  con  $i = 1, \dots, m$  y  $h_j = 0$  con  $j = 1, \dots, p$ .  $\Lambda$  es el universo que contiene todos los posibles vectores de variables de decisión  $x$  que pueden ser usados para la evaluación de  $F(x)$ . (**Coello, Van Veldhuizen & Lamont, 2007, pp. 5-9**)

En otras palabras, los problemas multiobjetivo son aquellos problemas donde la meta es optimizar  $k$  funciones objetivo simultáneamente. Esto puede involucrar la maximización de las  $k$  funciones objetivo, la minimización de las  $k$  funciones objetivo o una combinación de maximización y minimización de estas  $k$  funciones objetivo. (**Coello, Van Veldhuizen & Lamont, 2007, p. 7**)

Muchas veces estas  $k$  funciones objetivo entran en conflicto entre ellas, pues un vector de variables de decisión puede favorecer a ciertas funciones, pero afectar a otras. Por ejemplo, supongamos una función biobjetivo  $F(x) = (f_1(x), f_2(x))$

tal que se busca encontrar el vector de variables de decisión  $x$  que minimice tanto a  $f_1$  como a  $f_2$ . Sin embargo pudiera ser que cierto vector  $x_1$  minimice a  $f_1$ , pero no a  $f_2$ ; o bien, pudiera ser que cierto vector  $x_2$  minimice a  $f_2$ , pero no a  $f_1$ . Debido al hecho de tener varias funciones objetivo, en los problemas multiobjetivo la noción de “óptimo” cambia. La intención de una solución óptima es encontrar buenos “acuerdos” entre las distintas funciones objetivo, en vez de una solución que represente una optimización global. **(Coello, Van Veldhuizen & Lamont, 2007, p. 10)**

Es por ello que se plantean diversos métodos para encontrar la solución óptima en un problema multiobjetivo. A continuación se explican dos de estos: el método de sumas ponderadas y el método lexicográfico (que son los utilizados en esta tesis). En los subcapítulos 3.5 y 3.6 se explican los motivos por los que fueron elegidos estos dos métodos.

Supongamos un problema multiobjetivo con  $k$  funciones objetivo que quieren ser minimizadas y donde deben cumplirse  $m$  desigualdades y  $p$  ecuaciones. En el método lexicográfico las  $k$  funciones objetivo son ordenadas de acuerdo a la prioridad que representan. De ese modo  $f_1$  es la función objetivo más importante y  $f_k$  es la función objetivo menos importante. En este método se resuelven  $k$  subproblemas de programación. El primer subproblema consiste en:

$$\min f_1(x) \tag{1.5}$$

s.a

$$g_i(x) \leq 0 \quad i = \{1, \dots, m\} \tag{1.6}$$

$$h_j(x) = 0 \quad j = \{1, \dots, p\} \quad (1.7)$$

Sea  $x_1^*$  el vector de variables de decisión que soluciona este subproblema, tal que el valor de la primera función objetivo es  $f_1^*$  ( $= f_1(x_1^*)$ ). De ese modo, el segundo problema de programación a resolver es:

$$\min f_2(x) \quad (1.8)$$

s.a

$$g_i(x) \leq 0 \quad i = \{1, \dots, m\} \quad (1.9)$$

$$h_j(x) = 0 \quad j = \{1, \dots, p\} \quad (1.10)$$

$$f_1(x) = f_1^* \quad (1.11)$$

Sea  $x_2^*$  el vector de variables de decisión que soluciona este subproblema, tal que el valor de la segunda función objetivo es  $f_2^*$  ( $= f_2(x_2^*)$ ). El proceso continúa de manera similar, hasta llegar al k-ésimo problema de programación:

$$\min f_k(x) \quad (1.12)$$

s.a

$$g_i(x) \leq 0 \quad i = \{1, \dots, m\} \quad (1.13)$$

$$h_j(x) = 0 \quad j = \{1, \dots, p\} \quad (1.14)$$

$$f_e(x) = f_e^* \quad e = \{1, \dots, k-1\} \quad (1.15)$$

Sea  $x_k^*$  el vector de variables de decisión que soluciona a este subproblema. De esa manera  $x_k^*$  también es la solución a el problema general (minimiza las  $k$  funciones objetivo de manera lexicográfica). Los valores de cada una de las  $k$  funciones objetivo son:  $f_1^* = f_1(x_k^*)$ ,  $f_2^* = f_2(x_k^*)$ , ...,  $f_k^* = f_k(x_k^*)$ . **(Coello, Van Veldhuizen & Lamont, 2007, pp. 35-38; Ding, Gregov, Grodzevich, Halevy, Kavazovic, Romanko, Seeman, Shioda & Youbissi, 2006)**

En el método de sumas ponderadas a las  $k$  funciones objetivo se les asigna un porcentaje  $w_i$  (el cual indica la prioridad) tal que  $\sum_i^k w_i = 1$ . De ese modo  $f_i$  es la función objetivo que representa el  $w_i$  por ciento de importancia. El problema de programación queda representado de la siguiente manera:

$$\min \sum_i^k u_i f_i \quad (1.16)$$

s.a

$$g_i \leq 0 \quad i = \{1, \dots, m\} \quad (1.17)$$



$$h_j = 0 \quad j = \{1, \dots, p\} \quad (1.18)$$

Donde  $u_i = \frac{w_i}{\theta_i}$ . Los valores de  $\theta_i$  son valores de normalización, son necesarios para que las magnitudes de las evaluaciones de las distintas funciones objetivo sean equivalentes, dimensionalmente; estos valores nos dicen la amplitud del rango de posibles valores que pueden tomar cada una de las funciones objetivo. El vector de variables de decisión  $x_i^*$  es el vector que minimiza la función  $f_i$  sin considerar las otras funciones objetivo (ver (1.19)). (**Wang1, He & Yao, 2015; Ding, Gregov, Grodzevich, Halevy, Kavazovic, Romanko, Seeman, Shioda & Youbissi, 2006**)

$$\theta_i = \max\{f_i(x_1^*), \dots, f_i(x_k^*)\} - \min\{f_i(x_1^*), \dots, f_i(x_k^*)\} \quad \forall i \in \{1, \dots, k\}. \quad (1.19)$$

La solución de los problemas de programación tratan de buscar el valor óptimo de la función objetivo, un problema pequeño puede ser resuelto a lápiz y papel, pero sería una completa ironía tratar de resolver a "mano" un problema con muchas variables (la persona que trate de hacer esto, estaría tratando de optimizar un problema de programación, pero no estaría optimizando su recurso no renovable más valioso: su tiempo). Para solucionar grandes problemas de programación se utilizan softwares especializados en la materia.

Esos softwares tienen varios criterios de paro para presentar la solución óptima encontrada a un problema de programación. Uno de los criterios de paro en los problemas de programación enteros (mixtos o puros) es la brecha de optimalidad relativa; y justamente, es la pauta utilizada en esta tesis. La brecha de optimalidad relativa se refiere a la tolerancia relativa entre el mejor valor de la función objetivo encontrado y el óptimo de la función objetivo relajada (tal que no se cumplan las restricciones relacionadas con los valores enteros de las variables). (**LINDO Systems Inc., 2018; International Business Machines Corporation [IBM], 2013**)

## CAPÍTULO 2

### ESTADO DEL ARTE

Las metodologías, y los modelos subyacentes en ellas, que tratan de resolver los problemas referentes a la localización, dimensionalización, distritación y/o asignación de escuelas han sido abordadas por muchos autores a partir de la segunda mitad del siglo XX. El objetivo y la causa del origen varían, hay autores que diseñan modelos para resolver problemas que afectan a las escuelas (por ejemplo, por un cambio en el crecimiento poblacional), otros evalúan la situación actual en que se encuentran las escuelas porque están en calidad de consultores de distintas autoridades (gubernamentales o educativas).

Las primeras metodologías de este tipo de problemas conducen al 17 de mayo de 1954, cuando la Suprema Corte de los Estados Unidos declara, de forma unánime, que la educación con la doctrina “*separados pero iguales*” para estudiantes de piel clara y de piel oscura sería, en el futuro, considerada un sistema inaceptable para la enseñanza de los jóvenes de aquel país. Sin embargo, la suprema corte no dio pautas a las autoridades pertinentes para realizar el ejercicio, y entonces comienza a haber un interés en solucionar este tipo de problemas en escuelas públicas, ya que existían escuelas donde el número de estudiantes de cierta raza predominaba sobre el número de estudiantes de otra y eso ha sido considerado un problema. Varios académicos plantearon metodologías para resolver esta situación, las cuales han sido publicadas desde la década de los 60's. (**Franklin & Koenigsberg, 1973**)

En algunos casos la metodología tiene como objeto de estudio zonas de países

desarrollados, en estos casos, a menudo, la principal preocupación es la distribución. Otras metodologías se enfocan en países en desarrollo, en estos casos se observa que la prioridad es la cobertura.

La implementación de las metodologías desarrolladas, ya sea en la zona que fue objeto de estudio o alguna otra, sería lo ideal, sin embargo, pocas veces se llega a implementar. Lo que regularmente sucede es utilizar los modelos desarrollados como una herramienta de evaluación de la situación en que se encuentra el sistema de escuelas de la zona estudiada.

A continuación, se explican las principales especificaciones de las metodologías, y sus respectivos modelos, que aparecen en la literatura consultada, la cual fue de ayuda para el desarrollo de la metodología propia descrita en esta tesis.

***Ploughman, Darnton & Heuser (1968)*** abordan un problema por el crecimiento poblacional luego que estudios demográficos plantearan que el número de familias sería de 13,800 para el año de 1975 en cierto distrito escolar del condado de Oakland, Michigan (Estados Unidos). Dicho distrito tenía 8 escuelas elementales (el equivalente en México a una escuela primaria) lo cual preocupó por el abastecimiento de la demanda futura. El distrito escolar es dividido en 315 bloques habitacionales y se determina un conjunto de posibles lugares candidatos para localizar nuevas escuelas. Luego, considerando distancias rectangulares y la capacidad límite de las aulas, se establece la distribución escolar. Después se proyecta la población de interés dentro de 25 años y se prescribe el año y el lugar donde se deberían abrir las futuras nuevas escuelas (un total de 6). Posteriormente se configura la distribución de las escuelas para los años posteriores a la apertura de las futuras nuevas escuelas.

Esta metodología no considera el grado escolar al que pertenece cada estudiante y tampoco garantiza que la distribución de los estudiantes por grado sea uniforme en dicho distrito escolar. Además de que los cambios de expansión y las aperturas

de nuevas escuelas generarían grandes costos, los cuales, sin embargo, no están considerados.

**Clarke & Surkis (1968)** desarrollan una metodología que incluye un sistema llamado *MINTRAN*. En su metodología se considera la capacidad de cada una de las escuelas, la distribución racial de los estudiantes y el sistema de transporte en la zona de interés, así como una distancia máxima de recorrido permitida. Para ilustrar su metodología emplean un caso de estudio hipotético: una ciudad llamada *Duckburg* con 4 escuelas, 12 bloques habitacionales, 3 rutas de autobuses, 2 líneas subterráneas de transporte y 13,897 estudiantes pertenecientes a tres distintas razas. *MINTRAN* encuentra la mejor ruta entre cada centroide (de cada uno de los bloques habitacionales) y cada escuela. Los resultados alimentan al conjunto de parámetros de un problema de programación lineal que debe encontrar la asignación de los estudiantes tal que se minimice el tiempo de transporte y se garanticen instrucciones respecto a la composición racial de las escuelas. La metodología no pudo, al menos en su momento, resolver un problema real por el costo computacional necesario.

Esta metodología asigna estudiantes a las escuelas y determina la distribución de estas, pero no localiza ni define sus tamaños. También tienen la desventaja de no considerar el grado de los estudiantes, y esto no garantiza que se logre un equilibrio racial en cada clase, aunque se esté garantizando un equilibrio racial por escuelas.

Es importante mencionar que en esta obra se encuentra referenciada otra más llamada *Analysis of alternative methods for improving racial balance in a school district* de los autores **B. Lefkowitz & D. A D'Esopo (1967)**, la cual fue dada a conocer en mayo de 1967 y que sería, hasta donde se consultó, la primera obra que aborda problemas de localización de escuelas; y aunque no involucra las 4 tareas que concierne a un problema de localización (localización, asignación, distribución y dimensionalización), como muchas otras de las obras aquí expuestas, al menos

resuelve la distribución.

**Franklin & Koenigsberg (1973)** tienen el objetivo de resolver el problema de asignación de estudiantes a escuelas considerando un equilibrio racial. El caso de estudio es un distrito escolar ubicado en el norte de California (Estados Unidos) con 20,000 estudiantes repartidos en 45 escuelas elementales. Muchas de estas escuelas concentran un altísimo porcentaje de estudiantes de una sola raza lo que significa que las escuelas se encuentren segregadas racialmente.

Se desarrollan tres modelos de programación lineal. El primer modelo, el cual sirve de comparación y garantiza que las condiciones de capacidad de cada escuela se cumplan, agrupa a los distintos grados escolares en dos grandes agrupamientos y minimiza la distancia en línea recta (considerando compacidad) entre la escuela  $i$  y el sector habitacional  $j$ . Se plantea la opción de cambiar la función objetivo por distancias de recorrido, tiempo de traslado en autobús o costo por estudiante asignado. El segundo modelo es similar al anterior, pero distingue las razas de los estudiantes, este modelo no es evaluado por limitaciones financieras y computacionales. El tercer modelo cumple las restricciones del primer modelo y, además, distingue las razas a las que pertenecen los estudiantes, es resuelto por partes (cada una de las partes representa una subsolución); cada una de las partes a solucionar involucra solamente estudiantes de una misma raza y un mismo agrupamiento, por lo que serán  $n \times m$  subsoluciones (donde  $n$  es número de razas y  $m$  es el número de agrupamientos en los que fueron agrupados los distintos grados).

En tal distrito escolar los estudiantes de piel oscura representan el 27% de la población estudiantil total y el porcentaje de estudiantes de piel oscura en cada una de las escuelas oscila entre 0% y 98%, eso quiere decir que por un lado hay escuelas sin estudiantes de piel oscura, pero por otro lado hay escuelas con una gran concentración de estudiantes de piel oscura. Los resultados del primer modelo apenas redujeron el límite superior de este rango de porcentaje a 84% (era de esperarse que no habría grandes cambios pues la composición racial no

fue tomada en cuenta), sin embargo, el tercer modelo redujo este límite superior a 34 % (no permitía que muchos estudiantes de piel oscura estuvieran concentrados en una misma escuela).

A pesar de que los grados escolares no son considerados por separado, al menos si son asociados en agrupamientos, sin embargo, este modelo no permite cambio en el tamaño de las escuelas ni la apertura de nuevas.

**Jennergren & Obel (1980)** publicaron su obra en calidad de consultores del departamento de planificación de la ciudad de Odense (Dinamarca). Presentaron 2 modelos (sólo entraremos en detalles del segundo, pues el primero de ellos fue rotundamente rechazado) para los cuales fue necesario hacer una proyección de población. El segundo modelo es un programa lineal que restringe una capacidad máxima en las aulas y considera minimizar distancias (considerando compacidad). En un primer escenario se asignan estudiantes de diferentes bloques censales a escuelas existentes y con base en ello diseñan un mapa que les permite visualizar donde se necesitan expandir o donde se necesita localizar nuevas escuelas, un segundo escenario consiste en asignar estudiantes a las escuelas existentes (expandidas o no) y a las escuelas propuestas como nuevas. Varios casos, intermedios entre los dos escenarios anteriores, son llevados a cabo pues el objetivo de los autores es investigar las consecuencias de diferentes planes de sistemas de expansión de escuelas.

En la ciudad de Odense existen cuerpos que no permiten trasladarse tan fácilmente entre dos puntos (por ejemplo, los ríos). En la obra de estos autores, el lector es advertido de que tales obstáculos no son considerados en el modelo, pero lo ideal sería que si sean tomados en cuenta pues el traslado entre un bloque censal y una escuela puede ser más complicado cuando no existen puentes (que es el caso de Odense). El modelo permite localizar nuevas escuelas, determinar el tamaño de ellas, determinar el área de influencia de las escuelas y la asignación de los estudiantes.

**Molinero (1988)** enfrenta el problema desde una perspectiva diferente, pues el problema abordado consiste en clausurar escuelas. El número de nacimientos, en Reino Unido, registrados en 1976 representan dos terceras partes de los nacimientos del año 1965, por lo que en 1980 se estableció el Marco para administración de clausuras de escuelas, el cual persuade a cerrar escuelas con pocas inscripciones y permite que sean los padres quienes elijan a cuáles escuelas deben asistir sus hijos; la decisión de clausurar, o no, una escuela es tomada por las autoridades de educación local (LEA). El estudio se localiza en la ciudad de Southampton con 7 escuelas secundarias candidatas a ser cerradas. La autora, formando parte de comités de organismos comunitarios (independientes a la LEA) que informaban sobre el hecho de clausurar escuelas, desarrolló un estudio para estructurar el problema.

Se trabaja con programación lineal para minimizar distancias y poder asignar los bloques censales a cada una de las áreas de influencia de las escuelas primaria en Southampton, los resultados de Molinero coincidieron con los de la LEA. Luego cada escuela primaria es asignada a una escuela secundaria, lo que implica que las áreas de influencia de las escuelas primarias son heredadas por las escuelas secundarias (un proceso de jerarquización). Después se realiza un análisis de estructura social de acuerdo al tipo de trabajo de los habitantes de toda la zona de Southampton. Los resultados son esquematizados en un diseño similar a un mapa. Se concluye que los estudiantes que viven en áreas donde hay más obreros y personas sin empleo (regiones conocidas como no atractivas) prefieren asistir a escuelas donde viven personas profesionistas (regiones conocidas como atractivas). Con base en ello se determinó un índice de atraktividad para cada una de las 7 escuelas secundarias y considerando tanto la composición étnica como la antigüedad de la escuela, se prescribía que escuela cerrar. La LEA decide no cerrar ninguna pues considera que, de su parte, no se habían abordado los problemas de educación de la zona y cerrar tal escuela no lograría nada. Sin embargo, en el año de 1987 la LEA reconsidera, independientemente del trabajo de Molinero, si

la misma escuela que Molinero prescribía a cerrar debía seguir funcionando.

Dado que el enfoque es bastante distinto a la mayoría de las obras aquí consultadas y dada la naturaleza del problema, se dejan afuera características importantes que aparecen en otras metodologías (como la considerar los grados de forma separada o la apertura de escuelas). Sin embargo, esta metodología muestra cómo hacer un análisis duro (al determinar el índice de atractividad de las escuelas secundarias), a través de un análisis social (al descifrar la estructura social de la zona de Southampton), logrando determinar la distribución y la asignación de los estudiantes.

**Pizzolato (1994)** desarrolla un algoritmo heurístico para resolver el problema de las  $p$  medianas en una gráfica. En este problema se busca construir  $p$  árboles, tal que se minimice la suma de las transmisiones al nodo raíz de cada árbol. La transmisión al nodo raíz de cada árbol viene dada por (2.1).

$$T_k(r) = \sum_{x_i \in T_k} d(x_i, x_r) w_i. \quad (2.1)$$

Donde  $w_i$  es el peso en el nodo  $x_i$  y  $d(x_i, x_r)$  es la distancia entre los nodos  $x_i$  y el nodo raíz  $x_r$  del  $k$ -ésimo  $T_k$  árbol.

Pizzolato compara su algoritmo contra el de **Teitz & Bartz (1968)**, el más reconocido en tal época, con ejemplos ya conocidos en la literatura, mostrando que su algoritmo tiene mejor rendimiento y la capacidad de reducir el tiempo computacional para valores grandes de  $p$ .

Además, presenta una aplicación de localización de escuelas. La aplicación la hace en una zona cercana a Rio de Janeiro (Brasil). Dicha zona tiene 85 escuelas públicas y es dividida en 389 bloques censales (aproximadamente 300 viviendas en cada bloque). Cada uno de estos bloques representa un nodo cuyo peso es



equivalente al número de estudiantes entre 7 y 14 años; mientras que la distancia entre los nodos viene representada por la distancia de recorrido entre los bloques censales. El algoritmo es ejecutado con la finalidad de encontrar la mejor reubicación de las 85 escuelas (los bloques censales donde se reubican estas escuelas representan los nodos raíces) tal que se minimice la transmisión de todo el sistema (en esta aplicación la transmisión representa la suma de metros recorridos por estudiante).

La aplicación que Pizzolato da a conocer deja mucho que desear, pues una relocalización de escuelas consideraría grandes costos, los cuales no están considerados. Es una aplicación donde lo único que se logra es minimizar distancia recorrida por parte de los estudiantes asignados, pero no considera muchas otras características de los problemas de localización.

***Pizzolato & Fraga (1997)*** utilizan el algoritmo que Pizzolato había desarrollado en 1994, esto con el objetivo de realizar un estudio en 3 municipios de Brasil. El estudio se divide en dos partes, en la primera parte se hace una evaluación de la situación en que se encontraban los municipios en tal momento y la segunda parte consistió en una propuesta de relocalización y expansión de escuelas existentes con el algoritmo antes mencionado.

En la primera parte (la cual, según Pizzolato & Fraga, puede ser útil para la administración de capacidad a corto plazo) se asigna cada uno de los bloques censales a la escuela más cercana, con base en ello, se cataloga el exceso o faltante de vacantes escolares en una categoría de cinco posibles (según la gravedad del exceso o faltante), estas categorías son mapeadas y con ello se determina cuáles regiones de la zona estudiada necesitan más vacantes escolares. En la segunda parte del estudio sólo se abordan 2 municipios, pues el tercero resultó favorecido con la evaluación de la primera parte del estudio (Pizzolato & Fraga sugieren que segunda parte puede ser útil para la administración de la capacidad escolar a largo plazo).

Se plantea que el material inmobiliario podría moverse de escuelas que deben reducir su tamaño a escuelas que deben ser expandidas, también se sugiere que los profesores pueden ser trasladados; sin embargo, sigue existiendo el problema de construcción de nuevas escuelas y de las que deben ser expandidas, pues los costos no son considerados. Se expone que ampliar la distancia permitida máxima de recorrido no solucionaría el problema, pues habría escuelas que ampliarían sus áreas de influencia y por lo tanto resolverían el déficit de matrícula, pero otras agravarían el problema de exceso de matrículas. Considerando lo último expuesto y la orografía de los municipios, se plantea la creación de escuelas rurales.

**Taylor, Vasu & Causby (1999)** reportan una metodología que fue desarrollada durante una década mientras eran miembros de un grupo de laboratorios encargado de desarrollar y evaluar procesos para mejorar planes en beneficio de escuelas y comunidades. La metodología creada fue nombrada Planificación Integrada para la Escuela y la Comunidad. Consta de 5 pasos.

El primer paso se construyen los pronósticos poblacionales. En el segundo paso se realiza un mapeo de la capacidad de los edificios escolares y se determina, al menos cada 3 años, el número de nuevas escuelas candidatas (la forma de hacerlo es comparando el espacio disponible en una región con su demanda esperada). El tercer paso involucra una división del distrito escolar, que respete límites naturales como ríos, en bloques censales que alberguen entre 50 y 100 estudiantes, para después realizar un análisis de la composición estudiantil de raza y grado, y poder así determinar las localizaciones candidatas de las nuevas escuelas. En el cuarto paso un modelo de programación no lineal (es no lineal porque la función objetivo no es lineal, sin embargo, las restricciones son lineales) es resuelto con tres o cuatro corridas; en las primeras corridas se permite la capacidad máxima de todas las escuelas y se detecta las escuelas con una demanda igual, o cercana, a sus capacidades máximas; de estas escuelas, se reduce a un 85% la capacidad de aquellas ubicadas en zonas que presentarían crecimiento poblacional

(según las proyecciones poblacionales). En el quinto paso los bloques censales son asignados a las distintas áreas de influencia de cada escuela, aquí se relajan las variables dando la posibilidad de que un bloque censal sea subdividido.

La metodología evita que exista exceso de estudiantes en años posteriores a la planificación, dimensionaliza las nuevas escuelas, y redimensionaliza las existentes; sin embargo el proyecto es una planificación integrada entre escuelas y comunidades, por lo que los costos de operación y construcción son muy importantes, sin embargo, no son incluidos. El sistema ha sido implementado en 10 distritos escolares de Carolina del Norte (Estados Unidos), 6 de ellos lo han hecho más de una vez y 3 de estos lo han usado de forma ininterrumpida (hasta la fecha en que el artículo fue publicado).

**Antunes & Peeters (2000)** desarrollan un modelo de optimización dinámica entero mixto de 3 periodos y lo resuelven con un algoritmo heurístico: recocido simulado. Cada una de las etapas es representada con proyecciones de población (a 3, 8 y 13 años posteriores), los resultados de cada una de ellas determinan decisiones administrativas a corto, mediano y largo plazo con, y sin, restricciones de presupuesto. El modelo establece un tiempo de recorrido máximo de 30 minutos (en transporte público). El caso de estudio se plantea para escuelas de la zona Baixo Mondego (Portugal), luego que el gobierno de Portugal decidiera ampliar la educación elemental de 6 a 9 años. En dicha zona existían (al momento de hacer el estudio) 8 municipios con 9 escuelas existentes ubicadas solamente en 3 de estos municipios.

El punto más rescatable de esta metodología es que se realiza a través de una programación dinámica (el estudio se hace en distintas etapas temporales), sin embargo, no permite que escuelas que operen en la primera etapa temporal cierren en etapas temporales posteriores o escuelas que se mantengan cerradas en la primera etapa temporal operen en las etapas temporales posteriores. Además, se menciona que la localización de las escuelas sería en la principal localidad de

cada municipio, sin embargo, no son consideradas las distancias entre las localidades secundarias y la localidad principal de un mismo municipio (aun cuando estas distancias pueden ser mayores a la distancia entre las localidades principales de dos municipios distintos). El grado escolar de los estudiantes tampoco es considerado.

**Caro, Shirabe, Guignard & Weintraub (2004)** redefinen las áreas de influencia de las escuelas de dos distritos escolares de Filadelfia (Estados Unidos) tal que los estudiantes de cada distrito, desde *kindergarden* hasta el octavo grado, caminen menos para llegar a sus escuelas. Para ello utilizan un sistema de información geográfica que les permite desarrollar un modelo de programación entera no lineal.

Para cada distrito escolar se evalúan 5 escenarios: considerando la distritación existente en el momento de realizar el estudio, considerando restricciones de capacidad; considerando una distancia máxima de recorrido (este escenario fue evaluado sólo para un distrito escolar); considerando que el porcentaje de estudiantes de cierta raza, en cada escuela, debe estar en un rango deseado; y considerando una expansión en la infraestructura, tal que todas las escuelas consideradas ofrezcan servicios para todos los grados escolares estudiados (en algunas escuelas no se ofrecían servicios para todos los grados escolares).

En este modelo no se permite localizar nuevas escuelas o relocalizar las existentes. Se considera la expansión de la infraestructura, por lo que los costos de estas expansiones deberían ser tomados en cuenta, sin embargo, no aparecen en el modelo.

**Pizzolato, Broseghinim & Nogueira (2004)** tienen como objeto de estudio las escuelas de la ciudad de Vitoria (Brasil). Aplican el algoritmo desarrollado por Pizzolato (1994) para evaluar la situación escolar de tal ciudad y, con una versión del método de multiplicadores de Lagrange, proponen dos conjuntos de relocalización de las escuelas: tomando en cuenta la capacidad de ellas como límite y conside-

rando una expansión en las escuelas. Se considera a la población de interés con un 5 % más de lo indicado por los registros censales pues existen estudiantes en las escuelas de Vitoria que provienen de ciudades cercanas, además de que muchos estudiantes se atrasan en sus estudios o abandonan la escuela.

Los costos de expansión no son tomados en cuenta, y curiosamente, a pesar de ser, al menos, el tercer artículo donde Pizzolato colabora (y donde es utilizado su algoritmo de 1994), se sigue sin considerar los grados escolares independientemente. Los autores escriben que las autoridades escolares se sintieron atraídas por el estudio y que éstas mostraron interés de repetirlo después de 5 años.

**Gac, Martinez & Weintraub (2006)** proponen un modelo para evaluar la localización de las escuelas de una comuna (el equivalente en México a un municipio), la cual se divide en 6 secciones (o bloques), en la ciudad de Santiago de Chile (Chile). El tipo de escuelas que concierne son colegios (el equivalente en México a las escuelas que ofrecen educación media superior) de cualquier tipo de financiamiento (escuelas privadas, subsidiadas o municipales). Se utiliza programación lineal y se busca maximizar la función objetivo, la cual mide el beneficio social, tanto de los proveedores de servicio educativo como de los demandantes (estudiantes); ambos en unidades monetarias. Entre las restricciones más importantes del modelo están las de cobertura, capacidad de pago, y el tamaño máximo y mínimo de las escuelas (en número de estudiantes). Son evaluados 4 escenarios.

El primer escenario involucra la calidad de la infraestructura, calidad académica, nivel de subsidios, comodidad de transporte y nivel de precios. El segundo escenario evalúa las mismas especificaciones que el escenario 1 más la atracción de la sección (o bloque) en que se encuentra el colegio. El tercer escenario incluye las mismas especificaciones del segundo escenario más la libertad de precios. El cuarto escenario incluye las mismas especificaciones que el primer escenario más gastos libres, en este escenario se trata de minimizar la función objetivo (la cual pasa a ser lo equivalente a los gastos gubernamentales). A pesar de que en la

comuna existen 60 escuelas, los resultados arrojaban, para los 3 primeros escenarios, que debían estar funcionando 18 escuelas: 7 privadas, 9 subsidiadas y 2 municipales; en el escenario 4 los resultados indicaban que deberían funcionar 17 escuelas: 7 privadas, 9 subsidiadas y una municipal.

Muchos de los aspectos evaluados son cualitativos y difusos, por ejemplo: se considera que la capacidad de estudiantes a atender es alta o baja; y que la infraestructura es buena o mala (dependiendo del número de estudiantes por  $m^2$ ), en este último caso lo que debería preocupar son aspectos como la falta de mobiliario o estructura del inmueble. El modelo también supone grandes generalizaciones, por ejemplo: toda escuela municipal es considerada de capacidad alta, infraestructura mala y calidad mala; se realiza una clasificación de las secciones por estratos sociales y se considera que los ingresos de todos los habitantes de una misma sección son iguales; se hace la suposición que las escuelas privadas manejan un nivel de precio único (en los escenarios 1, 2 y 4); y las escuelas son segregadas espacialmente en las secciones ya creadas (por ejemplo, en la sección 1 sólo habría colegios municipales). La localización hecha por el modelo es burda, pues el modelo indica el número de escuelas (de acuerdo a su tipo de financiamiento) que bastan para optimizar el sistema, pero no da instrucciones para saber cuáles escuelas de cada sección son las indicadas por el modelo.

**Mandujano, Giesen & Ferrer (2012)** se enfocan en resolver el problema de redes de escuelas eficientes en regiones rurales. El caso de estudio es situado en el municipio de Barao de Grajaú (Brasil) y se utilizan dos modelos de programación entera mixta, el primero localiza escuelas y define el tamaño de ellas, el segundo rediseña el sistema de rutas de transporte escolar (asignación de paradas escolares a las escuelas), a partir del sistema de rutas existente. El primer modelo es alimentado por las soluciones del segundo modelo (el cual se resuelve heurísticamente). El primer modelo minimiza la función objetivo, la cual está formada por costos de funcionamiento de las escuelas, costos de transporte y costos por exceder la capacidad límite.

Esta metodología evalúa al municipio de Barao de Grajaú donde hay 33 escuelas con 143 aulas y 2052 estudiantes dispersos en 88 paradas de autobuses. Se consideraron 2 escenarios, permitiendo, y no, contigüidad respecto a cuáles paradas de autobús son asignadas a cuáles escuelas. Con contigüidad el modelo prescribe operar 14 escuelas con 116 aulas, sin contigüidad se prescriben 20 escuelas con 83 aulas, en ambos escenarios la función objetivo disminuye, respecto a la situación en la que operan las escuelas en el momento de realizar el estudio.

La metodología tiene importantes características que resaltar como la consideración de dos turnos escolares o clases multigrado (esto último es inevitable en zonas rurales). Para cada una de las localizaciones de las escuelas existentes es necesario definir un tipo de escuela, si el tipo de escuela propuesto por la solución del modelo es diferente a la escuela existente, en cuestión de tamaño, se necesita una expansión o reducción. Por otro lado, si la solución no prescribe localizaciones ocupadas por escuelas existentes, entonces se considera cerrar tal escuela. No se considera la apertura de nuevas escuelas. El modelo usa distancias entre las escuelas y las paradas de autobús existentes (no se generan nuevas paradas), pero no toma en cuenta la distancia que los estudiantes recorrerían para llegar a las paradas escolares, esto es una observación importante pues existe la posibilidad de que estas distancias puedan llegar a ser irrazonables, sobre todo en zonas rurales (que es el caso del municipio que sirvió como caso de estudio).

**Araya, Dell, Donoso, Marianov, Martínez & Weintraub (2012)** desarrollan un modelo de programación lineal luego de que el ministerio de educación de Chile solicitara hacer un estudio de localización y definición de tamaños óptimos para las escuelas rurales de Chile, tal que se minimizara el número de escuelas multigrado (consideradas de menor calidad), las distancias de recorrido y que se mantuvieran costos razonables. Dicho modelo minimiza costos de salario, de transporte y de matrícula, costos por cerrar o abrir nuevas clases, y costos por violar capacidades límites de las aulas. Los autores tratan de hacer un equilibrio entre pocas escuelas

de gran tamaño y muchas escuelas pequeñas, pues las escuelas de gran tamaño pueden ofrecer una variedad de actividades, pero castigan la distancia que los estudiantes deben recorrer; mientras que las escuelas pequeñas benefician la distancia, pero castigan la calidad de la educación (una clase que atiende a estudiantes de distintos grados escolares no tiene la misma calidad que una clase con estudiantes exclusivamente de un mismo grado).

El problema es resuelto por partes. Cada región de Chile representa un subproblema a resolver, las regiones con muchas variables se dividían en 2 o más subproblemas. Un primer modelo de cobertura (que garantiza que cada localidad tenga una propia escuela candidata o una escuela candidata con un mínimo de 100 estudiantes dentro de los primeros 10 kilómetros) es solucionado para tener las localizaciones candidatas a ser nuevas escuelas en cada subproblema. Después se encuentra la solución del modelo principal con un heurístico: primero se resuelve el modelo relajando las restricciones de creación y eliminación de aulas; el resultado de las variables que representan si las escuelas deben funcionar, o no, y bajo qué tipo (el tipo de escuela se refiere a los grados escolares que ofrece la escuela) son utilizados como parámetros fijos en la siguiente corrida del subproblema, donde se determinan los valores de las demás variables. Se utilizó una brecha de optimalidad de .05. Además del escenario base (con el que operan las escuelas en el momento del estudio), dos escenarios más son presentados. En el primer escenario hay una distancia límite de recorrido de 50 km y en el segundo escenario no existe distancia límite de recorrido.

Los resultados de los dos escenarios muestran una función objetivo menor al escenario base, pero con parte de su solución difícil de implementar, por ejemplo: se indica abrir escuelas con solo un estudiante, los resultados generan que la distancia promedio de recorrido son de 8.5 kilómetros para el primer escenario y 13.7 kilómetros para el segundo, la distancia máxima recorrida (cuando no hay límite) es de 371.2 kilómetros. Es importante mencionar que en el modelo principal a las escuelas que son localizadas como nuevas se le asigna un número inicial de salo-



nes, pero este número no puede ser reducido, lo que implica que pudiera darse el caso de indicar construcción de nuevas escuelas con más salones de los necesarios (que representaría gastos innecesarios).

De la literatura estudiada se encontró que para los problemas de localización de las escuelas se consideran deseables las siguientes propiedades (**Giesen, Rocha & Marianov, 2015, pp. 276**):

■ *Grados modelados separadamente* Ignorar los grados de los estudiantes solo podría ser razonable si todas las escuelas tuvieran la misma estructura de grados escolares. En las zonas rurales este no es el caso.

■ *Apertura, cierre, expansión y reducción* El modelo debe permitir la apertura y cierre de escuelas, así como la reducción y expansión del tamaño de estas. Como el objetivo principal es proponer redes de escuelas más eficientes; entonces se debe permitir el cierre (o reducción del tamaño) de escuelas ineficientes, y la expansión (o apertura) de otras escuelas con la finalidad de ganar más eficiencia.

■ *Costos de operación y construcción* La razón para incluirlos explícitamente es que los salarios de los maestros (costos de operación) son el componente principal de los costos educativos; además si el modelo considera construir nuevas aulas, entonces los costos de construcción deben estar explícitamente indicados.

■ *Escuelas multigrado* Las escuelas con aulas multigrados deberían ser una posibilidad en áreas rurales. Las escuelas con aulas multigrados son a veces la solución más eficiente en las áreas rurales.

Sin duda alguna, todas estas características son indispensables para obtener buenos resultados, pero no son suficientes. Muchas veces la situación en que se hayan las escuelas es deplorable (no necesariamente debe haber un ocurrido un desastre natural para que las condiciones sean nefastas), y desarrollar una meto-

dología solamente con las características antes mencionadas no cambiará que la infraestructura de los edificios mejore o que se instalen servicios básicos de los que se carece (como luz eléctrica). Al prescribir un sistema de escuelas no solo se debe estar garantizando que los estudiantes recorrerán menos distancias o que se optimizarán los costos, también se debe garantizar que los estudiantes cuenten con los servicios básicos necesarios en aulas que se encuentren en buenas condiciones estructurales, todo ello con el objetivo de que las condiciones de la infraestructura escolar no representen un limitante en el desarrollo educativo de los estudiantes. Por lo tanto, además de las propiedades mencionadas, también debe ser tomado en cuenta:

■ *Condiciones de la infraestructura escolar* Esta propiedad necesariamente debe ser tomada en cuenta en zonas rurales y/o en zonas que han sufrido un desastre. Muchas veces el hecho de que la mayoría de la población viva en áreas urbanas provoca que poco se haga para mejorar la situación en la que se encuentran los habitantes de las zonas rurales, por lo que es estas zonas, es muy probable que las condiciones en que se encuentren la infraestructura escolar sean malas. Las zonas que han sido afectadas por desastres no pueden exceptuarse a considerar esta característica, pues los siniestros también afectan a los inmuebles.

Existe otra propiedad que es señalada por algunos autores como deseable es:

■ *Zonas de servicio continuas* Las escuelas deben considerar zonas de servicio continuas, ya que en el contexto de planeación de instalaciones públicas los usuarios de bloques vecinos deben ser prevenidos de ser asignados a diferentes instalaciones porque la asignación a diferentes instalaciones convierte a la solución más difícil de interpretar y aceptar por parte de los usuarios.

Las restricciones referentes a esta última propiedad son restricciones de contigüidad, pero como ya mencionamos en el capítulo anterior, estas restricciones pueden elevar el costo computacional. En el modelo de localización propuesto,

estas restricciones son innecesarias pues a pesar de que no se establecen, se logran establecer zonas de servicio continuas.

En la tabla 1 podemos ver cuáles propiedades, de las primeras cinco mencionadas, están presentes en cada una de las metodologías consultadas. Ninguna de estas metodologías presenta, simultáneamente, las 5 propiedades mencionadas. Sin embargo, la metodología propuesta en esta tesis permite, de manera detallada y a través de las restricciones de la programación lineal, que las cinco propiedades sí estén presentes.

### Metodologías consultadas y sus características

Autor(es)	Apertura, clausura, expansión y reducción	Clases multigrado	Condición de la infraestructura	Costos de operación y construcción	Grados modelados de forma separada
Ploughman, Darnton & Heuser	✓*	X	X	X	X
Clarke & Surkis	X	X	X	X	X
Franklin & Koenigsberg	X	X	X	X	✓**
Jennergren & Obel	✓*	X	X	X	X
Molinero	✓*	X	X	X	X
Pizzolato	X	X	X	X	X
Pizzolato & Fraga	✓*	X	X	X	X
Taylor, Vasu & Causby	✓*	X	X	X	✓
Antunes & Peeeters	✓	X	X	✓	X
Caro, Shirabe, Guignard & Weintraub	✓*	X	X	X	✓
Pizzolato, Broseghinim & Nogueira	X	X	X	X	X
Gac, Martinez & Weintraub	✓*	X	X	✓	X
Mandujano, Giesen & Ferrer	✓*	✓	X	✓	✓
Araya, Dell, Donoso, Marianov, Martínez & Weintraub	✓	✓	X	✓	✓

Tabla 1: El signo ✓ quiere decir que dicho método presenta la característica señalada, mientras que el signo X indica que no la presenta. El signo ✓\* significa que el método permite, al menos una (pero no todas) de las siguientes características: apertura, cierre, expansión o reducción de escuelas. El signo ✓\*\* indica que el método estudia agrupamientos (conjunto de diferentes grados escolares) por separado.

## CAPÍTULO 3

### METODOLOGÍA PROPUESTA

La distancia entre las instalaciones y los clientes contribuye como una medida de rendimiento (de la localización de las instalaciones) el cual se va a considerar en la función objetivo del problema, pero no es el único factor de esta medida. Esto dirigirá a la creación de una función objetivo que podrá ser usada para evaluar una primera localización “prueba” de la instalación (o instalaciones). (***Love, Morris & Wesolowsky, 1988, p. 1***)

Esta primera localización “prueba” será la localización inicial y será sustituida si la evaluación de la función objetivo de una segunda localización prueba es mejor, en caso contrario la primera evaluación prueba se conservará como la localización tentativa. Después se compara la evaluación de la función objetivo con la localización tentativa contra la evaluación de la función objetivo de una tercera localización prueba, esta última sustituirá a la actual si tiene una mejor evaluación en la función objetivo. El proceso termina cuando se asegure que no existe una mejor evaluación de la función objetivo para cualquier localización prueba respecto a la localización tentativa, y entonces esta localización tentativa será nombrada la localización óptima. Los aspectos por considerar en la función objetivo dependen del problema, pero en general la distancia y los costos están incluidos. En esta tesis, además de las distancias y los costos, el número de alumnos por clase también se incluye como uno de los aspectos de la función objetivo.

La metodología propuesta en esta tesis se puede describir en 6 etapas generales. Estos pasos generales conducen a: localizar las escuelas que minimicen los

costos de operación e infraestructura, minimizar las distancias que los estudiantes recorren desde su casa hasta la escuela , y mantener un número de estudiantes por clase dentro de un rango “adecuado”. Con adecuado se quiere que la cifra de alumnos por clase no debe ser mayor ni menor a ciertos números límites.

**1. Determinación de los objetos de estudio** En esta etapa se selecciona la zona con un sistema escolar “preocupante” (donde por preocupante se refiere a afectado por algún desastre natural o porque se encuentra en un estado de marginación social o porque existe carencia de servicios), y por lo tanto, que será estudiada. Geográficamente hablando, estas zonas son grandes, y estudiarlas como un todo puede resultar difícil e incoherente, por lo que es necesario definir bloques en los que la zona es dividida.

**2. Cálculo de población de interés a futuro** De acuerdo con el horizonte de planeación, se debe determinar la población a futuro con base en los datos estadísticos más actuales disponibles de la población de interés (para esta metodología propuesta son las personas cuya edad está entre 3 y 17 años). A pesar de que algunos de los datos estadísticos más “actuales” fueron recabados muchos años atrás, se deberá trabajar con ellos si no se dispone de información reciente, haciendo algún ajuste de proyección para actualizarlos.

**3. Obtención de información de escuelas** Las escuelas son las instalaciones de interés en nuestro problema, por lo que debe obtenerse la información referente a su tamaño, la condición de sus aulas y su ubicación. Las escuelas de interés en el modelo propuesto de localización son las que ofrecen nivel educativo preescolar, primaria, secundaria o medio superior.

**4. Mediciones geográficas** Debe existir un sistema de medición de distancias eficaz, tal que las distancias medidas entre las escuelas y los hogares de los estudiantes sea lo más coherente a la realidad. En esta etapa también se establecen límites idóneos que un estudiante debe recorrer (distancia crítica) .

**5. Modelo de cobertura** Un primer modelo debe determinar posibles nuevas escuelas con base en la distancia crítica. Estas posibles nuevas escuelas y las escuelas existentes serán las candidatas a operar, según la prescripción final de la metodología propuesta. Para las posibles nuevas escuelas se deberán hacer nuevas mediciones de distancias como las descritas en el paso anterior. El mismo modelo de cobertura debe ser resuelto por cada nivel educativo (preescolar, primaria, secundaria y medio superior), sus soluciones son independientes entre sí.

**6. Modelo de localización** El modelo de localización de la metodología propuesta hará la prescripción final de cuáles escuelas deberán operar (nuevas o ya existentes), cuáles deberán ser expandidas o reducidas, y cuáles estudiantes deberán ser asignados a ellas. Este modelo se ajusta por cada nivel educativo.

### **3.1. Determinación de los objetos de estudio**

Los Estados Unidos Mexicanos se dividen en 32 entidades federativas (31 estados y una entidad capital), a su vez estas entidades se dividen en municipios (delegaciones en el caso de la entidad capital). Para la metodología propuesta, cualquier municipio (o delegación) puede ser una zona a ser estudiada.

Aunque la metodología propuesta es capaz de estudiar zonas que hayan sido afectadas por algún desastre natural o humano, por la baja calidad educativa presente, o por la ausencia de escuelas, no existen particularidades obligatorias que el municipio elegido como zona de estudio deba cumplir, pues la metodología también puede ser usada para evaluar la situación actual con la que operan las escuelas de cualquier otra zona.

Es importante mencionar que la zona por seleccionar como objeto de estudio puede ser adaptada a distintas áreas geográficas, por ejemplo, todo un estado o una región. Lo importante es que esté delimitada y que pueda ser dividida en bloques

pequeños.

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), una localidad es todo lugar ocupado con una o más viviendas, las cuales pueden estar o no habitadas; cada localidad es reconocida por un nombre dado por la ley o la costumbre. **(Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013, pp. 9-12)**

Las localidades pueden ser clasificadas en urbanas y rurales. Las localidades urbanas son aquellas que tienen una población mayor o igual a 2,500 habitantes o que son cabeceras municipales, independientemente de su población. Las localidades rurales son las que tienen una población inferior a 2,500 habitantes y no son cabeceras municipales. **(Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013, pp. 9-12)**

Una manzana es un espacio geográfico de superficie variable, que está constituido por una vivienda o un grupo de viviendas, edificios o terrenos, de uso habitacional, comercial, industrial y/o de servicios. Generalmente se pueden rodear en su totalidad y está delimitada por calles, andadores, brechas, veredas, cercas, arroyos, límites de parcelas y otros elementos. **(Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013, pp. 9-12)**

Las manzanas se clasifican en urbanas y rurales. Las manzanas urbanas son aquellas que pertenecen a las localidades urbanas. Las manzanas rurales son aquellas que pertenecen a las localidades rurales. Regularmente las localidades rurales agrupan poca población, un poco mayor a la que agrupa una sola manzana urbana. En la metodología expuesta cada manzana urbana y cada localidad rural es un bloque. Cualquier otro tipo de división ya definida de la zona de estudio puede ser usada para definir los bloques, pero debe tomarse en cuenta que son preferibles las divisiones que ya cuenten con registros poblacionales (pues se harán cálculos de población a futuro), de lo contrario se tendrán que hacer más



cálculos que los expuestos en esta metodología. (*Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2013, pp. 9-12*)

### **3.2. Cálculo de la población de interés a futuro**

Para el cálculo de la población de interés a futuro es necesario determinar un horizonte de planeación y contar con los datos más actuales referentes a la población de los bloques y la zona seleccionada. El horizonte determinará los años en los que la demanda de la población podrá ser cubierta.

Es importante aclarar que otros cálculos, además de los descritos en este paso, pueden sustituir a los empleados (que se explicarán a continuación). Los cálculos hechos aquí se realizan con base en datos levantados sobre la composición de la población y a proyecciones de población ya hechas, ambos tipos de datos son hechos por instituciones expertas en su materia. Estas instituciones son el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), el Consejo Nacional de Población (CONAPO) y la Secretaría de Educación Pública (SEP).

En algunos de las tablas (sin importar su fuente de origen) que se mencionaran en los próximos párrafos se encuentra, dentro del nombre de la tabla, la descripción *edad desplegada*. Esta descripción se refiere a que se detalla el número de personas con 0 años cumplidos, 1 año cumplido, 2 años cumplidos,...; sin embargo, las únicas edades que interesan son las de entre 3 años y 17 años (idealizando que los estudiantes inician a recibir educación preescolar a los 3 años e ingresan al último grado de la educación medio superior a los 17 años).

De la página del CONAPO se obtienen una tabla de proyección de población por estado según edad desplegada y por parte de la SEP (a través del Sistema para el análisis de la estadística educativa: SisteSEP) se obtiene una tabla de proyecciones de población por estado según edad desplegada. Para cada edad de interés, a partir de la comparación de estos dos conjuntos de datos tabulados, se obtienen

los cálculos de población máxima estatal según la edad desplegada (ver figura 1).

### Cálculo de población de interés a futuro

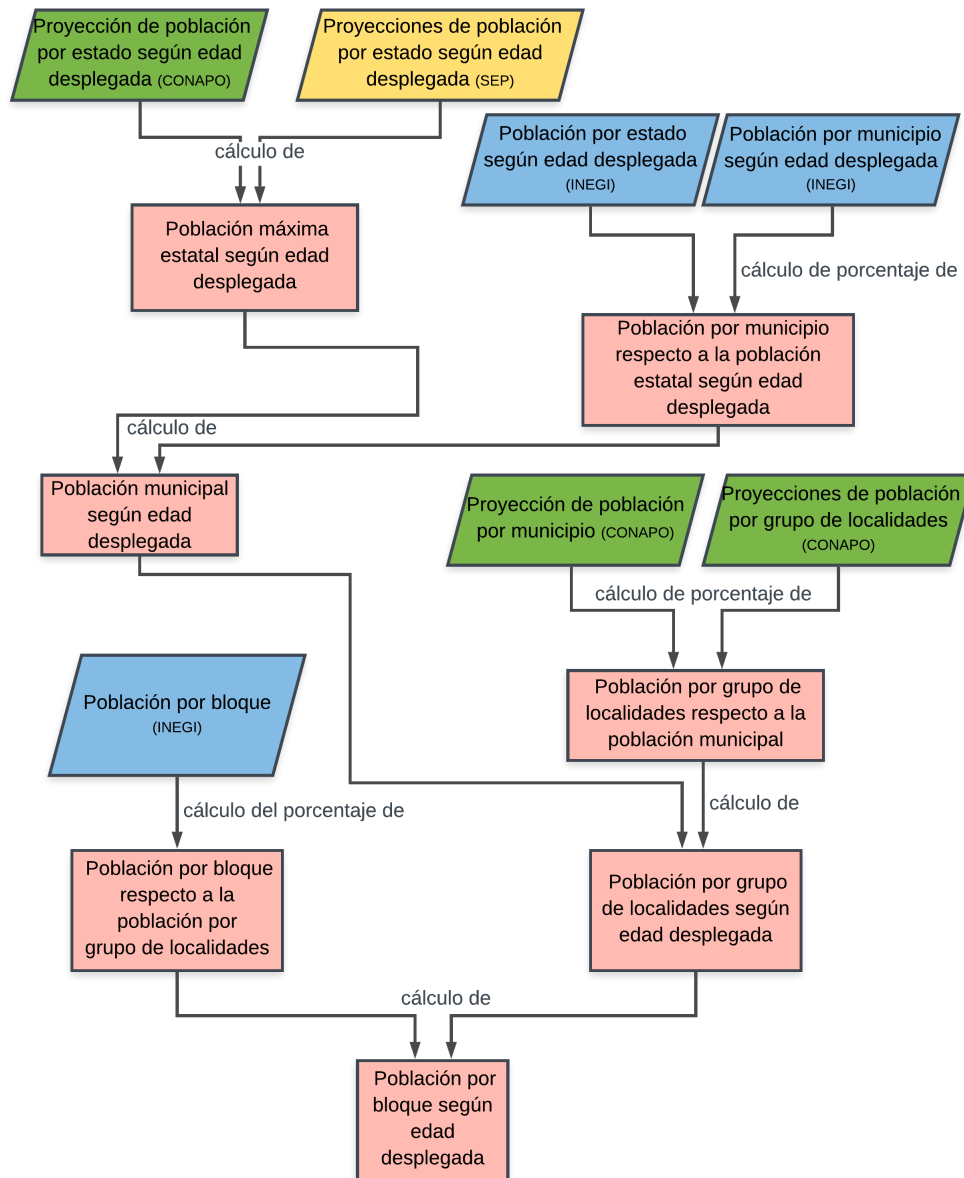


Figura 1: Diagrama de flujo de la etapa 2 de la metodología propuesta.

Las tablas del INEGI que cuentan con la descripción *edad desplegada* (población por estado según edad desplegada y población por municipio según edad desplegada), contienen el número de personas que no especifican su edad. Esta cantidad se distribuye, de manera equitativa, sobre las edades que si están espe-

cificadas en cada una de estas tablas. Para cada una de las edades de interés, de las tablas de población por estado según edad desplegada, se calcula el porcentaje que representa su población respecto a la población de esa misma edad en todo el estado. Esos mismos porcentajes son heredados por el tabulado de los datos de población por municipio según edad desplegada, y de esta manera se obtienen los cálculos que representan el porcentaje de población por municipio respecto a la población estatal según edad desplegada (ver figura 1).

Con los últimos porcentajes calculados en el párrafo anterior y con los cálculos de población máxima estatal según edad desplegada se calcula, para cada una de las edades de interés, la población municipal según edad desplegada (ver figura 1).

También del CONAPO se obtienen una tabla de proyección de población por municipio y una tabla de proyecciones de población por grupo de localidades. Con el último se calculan los porcentajes que representan las proyecciones de población en cada grupo de localidades respecto a la población total del municipio. Estos porcentajes son heredados por el primer tabulado de datos mencionado en este párrafo, y de esta manera se obtienen los cálculos que representan los porcentajes de la población por grupo de localidades respecto a la población municipal (ver figura 1).

Con los últimos porcentajes calculados en el párrafo anterior y con los cálculos de población municipal según edad desplegada se calcula, para cada una de las edades de interés, la población por grupo de localidades según edad desplegada (ver figura 1).

En el INEGI se solicitó acceso de microdatos (la solicitud es necesaria porque este tipo de datos son muy específicos, por lo que no están abiertos a todo el público), con los cuales se construye una tabla de población por bloque (es decir por manzanas urbanas y localidades rurales). Estos datos permiten calcular los

porcentajes de población por bloque en cada grupo de localidades (ver figura 1).

Con los porcentajes mencionados en el último párrafo y la población por grupo de localidades según edad desplegada se calculan, finalmente, la población por bloque según edad desplegada. Estos cálculos serán parte del conjunto de datos que alimentarán a los modelos de cobertura y localización propuestos (ver figura 1).

### **3.3. Obtención de información de escuelas**

Dado que las instalaciones que preocupan son las escuelas, se debe obtener la mayor información útil, actual y veraz de ellas. Para garantizar que esta información proporcionada sea fiable, debe desarrollarse una encuesta. Entre la información solicitada por la encuesta deben estar:

El nivel educativo que es ofrecido por cada escuela. La metodología propuesta ha sido desarrollada para prescribir un sistema de escuelas que ofrezcan educación preescolar, primaria, secundaria y medio superior. Además, sólo las escuelas que ofrecen educación ordinaria son consideradas, esto quiere decir que las escuelas orientadas a estudiantes con necesidades especiales o escuelas para adultos no son consideradas en el modelo, pero la población que pudieran atender quedaría cubierta con algunas de las instalaciones que arroje la prescripción óptima.

La dirección donde se encuentra ubicada la escuela. Es necesario poder ubicar geográficamente a cada escuela ya que, bajo el argot de nuestro problema de localización de escuelas, los bloques donde se encuentran ubicadas las escuelas juegan el rol de sitios candidatos a ser instalación.

El tipo de financiamiento de la escuela. Sólo las escuelas públicas son consideradas, pues la metodología propuesta está pensada para satisfacer la demanda de la población considerando que todos asistirían a escuelas públicas (algo que ca-

si siempre sucede en zonas rurales). Establecer un sistema de escuelas públicas bien fundamentado ayudará a atraer a más estudiantes al sistema público.

El número de aulas. Toda clase debe mantenerse dentro de las aulas, conocer estos números ayudan a determinar cuantas nuevas aulas deben ser construidas para satisfacer la demanda en cada escuela. En la metodología propuesta no se permite que existan clases en la intemperie.

La condición de aulas y los servicios básicos ausentes. Las aulas son el espacio donde los estudiantes están mientras reciben su educación por lo que estas deben contar con una infraestructura que no ponga en riesgo la integridad de los estudiantes y con los servicios básicos necesarios (mobiliario, sanitario, agua, luz) para el buen desempeño de los estudiantes.

Las encuestas deben ser levantadas en cada una de las escuelas de la zona de estudio, a través de autoridades pertinentes. El hecho de que las encuestas deban ser levantadas por algún tipo de autoridad es necesario para poder explicar el motivo de la solicitud y poder así obtener respuesta positiva por parte del personal de las escuelas, de otro modo existe la posibilidad que las escuelas se nieguen a responder las encuestas. La información solicitada debe ser proporcionada por el director de cada escuela (o alguna autoridad semejante) porque son ellos quienes conocen a detalle la situación de la institución que dirigen. En el anexo A se encuentra la encuesta que fue levantada, desarrollada para aplicarse en las escuelas de la zona a estudiar.

Entre los datos solicitados por la encuesta hay algunos que no fueron utilizados en la metodología propuesta. Esto sucede porque cuando se levantaron las encuestas, se sabía que podrían surgir cambios en la metodología, por lo que era prudente contar con información “extra” que pudiera usarse. Si la metodología propuesta se utiliza para alguna otra zona, se podría efectuar una depuración de la información solicitada antes del levantamiento de encuestas, sin embargo, la información

“extra” puede servir para hacer, en el futuro, un análisis más específico sobre la situación en la que se encuentran operando las escuelas de la zona estudiada.

### **3.4. Mediciones geográficas**

En nuestro problema de localización todos los bloques habitados por personas de entre 3 y 17 años (según los cálculos de población a futuro) son los sitios de demanda; por otro lado, los bloques que cuentan con una escuela, o que tendrán una posible nueva escuela (se explica en el siguiente paso) son los sitios candidatos a ser instalaciones. De esta manera pueden existir bloques que fungirán tanto como sitios de demanda como sitios candidatos a ser instalaciones.

En la metodología propuesta, la distancia entre los sitios de demanda y los sitios candidatos a ser instalaciones es la longitud del arco que conecta el centroide del bloque habitado por algún estudiante hasta el centroide del bloque donde se encuentra la escuela. Las mediciones de tales distancias pueden ser “carreteras”, euclidianas ponderadas o mixtas.

La distancia carretera es aquella que es medida a través de la trayectoria de caminos ya establecidos, estas distancias son apegadas a la realidad. Este tipo de distancias es empleado en trayectorias entre localidades rurales que no atraviesan alguna localidad rural.

Cuando la distancia a medir es entre dos manzanas urbanas dentro de una misma localidad urbana, entonces se emplea la distancia euclidiana ponderada. Esta distancia es euclidiana porque representa a la distancia en línea recta entre los dos bloques, por otro lado, es ponderada porque se multiplica por un factor de conversión. El factor de conversión es un factor promedio característico de cada localidad urbana, indica la proporción que representa la distancia euclidiana entre cualquier par de manzanas urbanas respecto a la distancia carretera entre ese mismo par de manzanas urbanas.

Las distancias mixtas son empleadas entre una localidad rural y una manzana urbana, entre dos localidades rurales tal que su trayectoria atraviesa una localidad urbana, o entre manzanas urbanas de distintas localidades urbanas. Son mixtas porque parte de la trayectoria es medida como distancia carretera y la otra parte de la trayectoria es medida como distancia euclidiana ponderada.

En el paso 5 se explica el modelo de cobertura. Para alimentar este modelo es necesario conocer la distancia entre todo sitio de demanda y todo sitio candidato a ser instalación, no obstante, el objetivo del paso 5 es sugerir nuevos sitios candidatos a ser instalación. Entonces hay 2 posibilidades: Obtener la distancia entre todo par de bloques en un único proceso o bien, obtener la distancia entre los sitios de demanda y los sitios candidatos a ser instalaciones ya definidos y posteriormente obtener la distancia entre los sitios de demanda y los sitios candidatos a ser instalación nuevos. Se aconseja (aunque pueda parecer ineficiente) hacer la primera posibilidad pues involucra un único proceso.

Los resultados obtenidos en este paso y los dos anteriores servirán como datos de entrada al modelo de cobertura (paso 5) y al modelo de localización (paso 6). Ambos modelos se proponen con programación lineal entera.

### **3.5. Modelo de cobertura**

En este paso y en el paso 6 los niveles educativos son distinguidos entre sí, por lo que en los modelos, respectivos, los datos de cada nivel educativo serán tratados de manera independiente y separada. Por ejemplo, los datos que alimentarán al modelo de cobertura aplicado al nivel educativo primaria son ajenos a los datos que alimentarán al modelo de cobertura aplicado al nivel educativo secundaria. Esto quiere decir que a partir de este momento, las escuelas y los estudiantes deben ser diferenciados de acuerdo al nivel educativo que, respectivamente, ofrecen y necesitan.

Uno de los objetivos específicos de la metodología propuesta es reducir la distancia que los estudiantes recorren desde su hogar hasta su escuela, por lo que debe existir una distancia de recorrido que sea el parteaguas entre lo apropiado y lo no apropiado. Esta distancia, como se menciona al inicio de este capítulo, es llamada distancia crítica.

Desafortunadamente, es muy probable que una vez definida la zona a estudiar, se encuentren bloques con población de interés<sup>1</sup> cuyas escuelas más cercanas se encuentren a una distancia mayor a la distancia crítica. El modelo de cobertura descrito en este paso busca proponer escuelas candidatas nuevas para satisfacer la demanda de estos bloques. De esta manera todo bloque con población de interés tendrá, al menos, una escuela a una distancia de recorrido apropiada. Al concluirse este paso, se tendrá el conjunto definitivo de sitios candidatos a instalar una escuela<sup>2</sup>: los bloques con escuelas ya existentes y los bloques con escuelas candidatas nuevas. Se recalca que los sitios candidatos a instalar una escuela son justo eso, candidatos, el resultado final de la metodología propuesta prescribirá cuáles sitios candidatos a instalar una escuela deberán tener una escuela.

Para proponer los bloques con escuelas candidatas nuevas se consideran dos funciones objetivos: la primera función objetivo  $f_1$  minimiza el número de escuelas candidatas nuevas y la segunda función objetivo  $f_2$  minimiza la transmisión total de estudiantes desde los bloques con población de interés no cubiertos por las escuelas existentes hacia las escuelas candidatas nuevas.

Este paso es necesario para mitigar el costo computacional que pudiera generarse en el modelo de localización propuesto que será explicado en el paso 6. En las tablas 2, 3 y 4 se explican lo que representa cada índice en el modelo de cobertura propuesto, así como el significado de los parámetros y variables utilizados

---

<sup>1</sup>A partir de ahora los sitios de demanda serán nombrados bloques con población de interés

<sup>2</sup>A partir de ahora los sitios candidatos a ser instalación serán nombrados sitios candidatos a instalar una escuela



en este mismo modelo.

### Índices del modelo de cobertura

Índice	Significado
$u$	Bloque con población de interés no cubierto por escuelas candidatas existentes
$e$	Bloque sin escuela

Tabla 2: Índices empleados en la notación del modelo de cobertura propuesto.

### Parámetros del modelo de cobertura

Parámetro	Significado
$Cov_{ue}$	1 si entre $u$ y $e$ hay una distancia menor, o igual, a la distancia crítica; 0 en caso contrario.
$Est_u$ [estudiante]	Número de estudiantes viviendo en el bloque $u$
$CosTra_{ue}$ [ $\frac{\text{metro}}{\text{estudiante}}$ ]	Distancia entre el bloque $u$ y el bloque $e$

Tabla 3: Parámetros empleados en el modelo de cobertura propuesto.

### VARIABLES del modelo de cobertura

Variable	Significado
$X_e$	1 si se propone una escuela candidata nueva en $e$ , 0 en caso contrario.
$Y_{ue}$	1 si la distancia entre el bloque $u$ y el bloque $e$ es considerada en $f_2$ , 0 en caso contrario.

Tabla 4: Variables empleadas en el modelo de cobertura propuesto.

El modelo de cobertura propuesto con programación lineal entera es el siguiente:

$$\text{Min } f_1 = \sum_e X_e \quad (3.1)$$

$$\text{Min } f_2 = \sum_u \sum_e Y_{ue} \text{Est}_u \text{CosTra}_{ue} \quad (3.2)$$

$$\sum_e \text{Cov}_{ue} X_e \geq 1 \quad \forall u \quad (3.3)$$

$$Y_{ue} \leq \text{Cov}_{ue} X_e \quad \forall u \forall e \quad (3.4)$$

$$\sum_e Y_{ue} = 1 \quad \forall u \quad (3.5)$$

$$X_e \in \{0, 1\} \quad \forall e \quad (3.6)$$

$$Y_{ue} \in \{0, 1\} \quad \forall u \forall e. \quad (3.7)$$

(3.1) y (3.2) hacen referencia a las funciones objetivos del modelo de cobertura. Se propone resolver este modelo de programación multiobjetivo con el método lexicográfico, por lo que los subíndices indican la prioridad de las funciones. (3.3) asegura que cada bloque sin la cobertura de una escuela candidata existente tenga la cobertura de, al menos, una escuela candidata nueva. (3.2), (3.4) y (3.5) aseguran que sólo sea considerada la distancia entre el bloque  $u$  y el bloque  $e$  que será sitio candidato a instalar una escuela más cercano. (3.6) y (3.7) indican la naturaleza de las variables.

En el modelo de cobertura propuesto lo importante es el encontrar el menor número de escuelas candidatas nuevas posible y suficiente para lograr una cobertura menor, o igual, con la distancia crítica. De esta manera se reduce el costo computacional que puede generarse para solucionar el modelo de localización propuesto. Sin embargo, existen múltiples soluciones óptimas; a pesar de que todas ellas son óptimas (dado que todas reducen el número de escuelas candidatas nuevas), no son iguales respecto a la transmisión. Sin embargo, en esta etapa de la metodología, la transmisión pasa a segundo plano (es un objetivo en la siguiente etapa, pero no en esta), pues lo que se quiere aquí es reducir el número de escuelas candidatas nuevas. El método lexicográfico fue la técnica elegida para solucionar el problema de cobertura pues permite escoger la solución óptima, respecto a una función objetivo secundaria, manteniendo el resultado de una función objetivo principal invariable. De esta manera no se arriesga la solución de la función objetivo principal.

### **3.6. Modelo de localización**

El último paso de esta metodología es el modelo de localización. En este paso se determina que escuelas candidatas deben operar y cuales no (independientemente de que sean escuelas existentes o escuelas a construir), es decir la localización. También se prescribe el tipo de “agrupación” de las escuelas que operarán (esto se explicará más adelante), el número de clases de las escuelas que operarán, y el número de aulas a construir, o reparar, en cada escuela que si operará; es decir la dimensionalización. Por último, se indica a cuál clase asistirá cada estudiante (de acuerdo con el bloque en el que viven); es decir la asignación y distribución. Todo ello de manera simultánea y resguardando siempre los objetivos específicos de esta tesis. Por lo que al final de esta etapa se tendrá diseñado el sistema de escuelas óptimo para la zona de estudio. En las tablas 6, 5 y 7 se encuentran, respectivamente, los parámetros, índices y variables del modelo de localización propuesto.

### Parámetros del modelo de localización

Parámetro	Significado
$CosRec_d$ [ $\frac{\$}{aula}$ ]	Costos de reconstrucción de un aula con daño $d$
$CosOpe$ [ $\frac{\$}{aula}$ ]	Costos de operación de un aula
$CosSan$ [ $\frac{\$}{sanitario}$ ]	Costos de construcción de un sanitario
$CosTra_{ue}$ [ $\frac{metro}{estudiante}$ ]	Costos de transporte desde el bloque $u$ hasta el bloque $e$
$PenExc_{ac}$ [ $\frac{punto}{estudiante}$ ]	Penalización por cada estudiante en exceso, respecto a la capacidad máxima tolerable de estudiantes, en una clase de configuración $c$ en escuela de agrupamiento $a$
$PenFal_{ac}$ [ $\frac{punto}{estudiante}$ ]	Penalización por cada estudiante faltante, respecto a la capacidad mínima tolerable de estudiantes, en una clase de configuración $c$ en una escuela de agrupamiento $a$
$MaxCla_{ac}$ [clase]	Número máximo de clases de configuración $c$ permitidas en una escuela de agrupamiento $a$
$MaxEstTol_{ac}$ [estudiante]	Capacidad máxima tolerable de estudiantes en una clase (i.e. sin recibir penalización) de configuración $c$ en una escuela de agrupamiento $a$
$MinEstTol_{ac}$ [estudiante]	Capacidad mínima tolerable de estudiantes en una clase (i.e. sin recibir penalización) de configuración $c$ en una escuela de agrupamiento $a$ [estudiante]
$MaxExc_{ac}$ [estudiante]	Número máximo de estudiantes en exceso permitido en una clase de configuración $c$ en una escuela de agrupamiento $a$
$MatMin$ [estudiante]	Matrícula mínima requerida para la apertura de una escuela
$Est_{ug}$ [estudiante]	Número de estudiantes en grado escolar $g$ en el bloque $u$
$AulExi_{ed}$ [aula]	Número de aulas existentes con daño $d$ en el bloque $e$
$SanExi_e$ [sanitario]	Número de sanitarios existentes en el bloque $e$

Tabla 5: Parámetros empleados en el modelo de localización propuesto.

### Índices del modelo de localización

índice	Significado
$u$	Bloque con población de interés
$e$	Bloque con escuela candidata
$g$	Grado escolar
$a$	Tipo de agrupamiento
$c$	Configuración de los grados escolares dado un tipo de agrupamiento
$d$	Nivel de daño y carencia de servicios presentes en un aula

Tabla 6: Índices empleados en el modelo de localización propuesto.

### VARIABLES DEL MODELO DE LOCALIZACIÓN

Variable	Significado
$X_e$	1 si la escuela del bloque $e$ debe operar, 0 en caso contrario.
$A_{ueg}$	Número de estudiantes de grado escolar $g$ que viven en el bloque $u$ asignados a la escuela del bloque $e$
$C_{eac}$	Número de clases con configuración $c$ en el bloque $e$ de agrupamiento $a$
$E_{eac}$	Número de estudiantes en exceso, respecto a la capacidad máxima tolerable, en una clase de configuración $c$ en el bloque $e$ de agrupamiento $a$
$D_{eac}$	Número de estudiantes faltantes, para reunir la capacidad mínima tolerable, en una clase de configuración $c$ en el bloque $e$ de agrupamiento $a$
$N_{eac}$	Variable auxiliar complementaria a $C_{eac}$
$B_{eac}$	Variable auxiliar complementaria a $E_{eac}$
$R_{ed}$	Número de aulas a usar y, en su caso, reparar con daño $d$ en el bloque $e$
$S_e$	Número de sanitarios a construir en la bloque $e$

Tabla 7: Variables empleadas en el modelo de localización propuesto.

Una de las características de esta metodología propuesta es que permite que más de un grado se integren en una misma clase. La agrupación de una escuela está determinada por la clase, perteneciente a esa escuela, que tenga mayor número de grados distintos. Si la clase con mayor número de grados distintos es una clase con un único grado, entonces la escuela es de agrupación única ( $a$  es única esto quiere decir  $a = U$ ); si la clase con mayor número de grados distintos es una clase con dos grados, entonces la escuela es de agrupación doble ( $a$  es doble esto quiere decir  $a = D$ ); y así sucesivamente. Por ejemplo, si una escuela tiene una clase donde se atiende tanto a los estudiantes de grado 01 como a los estudiantes de grado 02 y una clase donde se atiende a los estudiantes de grado 03, entonces la escuela será de agrupación doble ( $a = D$ ) porque la clase con mayor número de grados distintos tiene dos grados.

La configuración se refiere a las incorporaciones de grados distintos dentro de una misma clase. Por ejemplo, si dentro de una misma clase están incorporados los estudiantes de grado 04, los estudiantes de grado 05 y los estudiantes de grado 06, entonces la configuración es  $C = \{01, 02, 03\}$ .

La configuración de las clases está ligada a la agrupación de la escuela a la que pertenecen tales clases. Es por eso que se maneja la nomenclatura  $(a, c)$  que se lee: “la clase que tiene la configuración  $c$  de una escuela de agrupación  $a$ ”. Por ejemplo, si en una escuela se encuentra la combinación  $(a, c) = (D, \{12\})$  se refiere a que en esa escuela hay una clase donde se atiende solamente a los estudiantes de grado 12, sin embargo esa escuela la clase con mayor número de grados distintos tiene dos grados distintos.

Otra característica particular de esta metodología es que está diseñada para poder implementarse en zonas lastimosas, por lo que la condición de la infraestructura debe ser considerada. Cada una de las aulas que existen, y que pueden servir para impartir clases una vez determinada que escuelas operarán, son etiquetadas de acuerdo a un nivel de infraestructura. Esta etiqueta está representada por el índice  $d = \{0, 1, 2, \dots, n - 1, n\}$ . Mientras menor sea el valor de  $d$  menos costo representa la reparación e instalación de servicios;  $d=0$  representa un aula con todos los servicios y en condiciones deseables,  $d=n-1$  representa un aula en las condiciones más deplorables pero rescatable en su infraestructura, mientras que  $d=n$  representa las aulas no existentes y que por lo tanto serán construidas desde cero.

En el modelo de localización hay tres funciones objetivos que se quieren minimizar (cada una de ellas representa a uno de los objetivos específicos de esta tesis). El modelo de cobertura propuesto con programación lineal entera es el siguiente:

$$\text{Min} \quad \sum_u \sum_e \sum_g A_{ueg} \text{CosTra}_{ue} \quad (3.8)$$

$$Min \quad \sum_e \sum_d R_{ed}(CosRec_d + CosOpe) + CosSan \sum_e S_e \quad (3.9)$$

$$Min \quad \sum_e \sum_{(a,c)} E_{e(a,c)} PenExc_{(a,c)} + \sum_e \sum_{(a,c)} D_{e(a,c)} PenFal_{(a,c)} \quad (3.10)$$

$$\sum_e A_{ueg} = Est_{ug} \quad \forall u \forall g \quad (3.11)$$

$$\sum_u \sum_{g^* \in c} A_{ueg} \leq \sum_{(a,c^*) | g^* \in c^*} MaxEstTol_{(a,c^*)} C_{e(a,c^*)} + E_{e(a,c^*)} \quad \forall e \forall c \quad (3.12)$$

$$C_{e(a,c)} \leq MaxCla_{(a,c)} X_e \quad \forall e \forall (a,c) \quad (3.13)$$

$$C_{e(a,c)} \leq MaxCla_{(a,c)} (1 - N_{e(a,c)}) \quad \forall e \forall (a,c) \quad (3.14)$$

$$N_{e(a^*,c^*)} + N_{e(a^{**},c^{**})} \geq 1 \quad \forall e \forall (a^*,c^*), (a^{**},c^{**}) \quad a^* \neq a^{**} \quad (3.15)$$

$$\sum_{(a,c) | g \in c} C_{e(a,c)} \geq X_e \quad \forall e \forall g \quad (3.16)$$

$$C_{e(a,c)} \leq 1 \quad \forall e \forall (a,c) \text{ } a \neq \text{única} \quad (3.17)$$

$$E_{e(a,c)} \leq \text{MaxExc}_{(a,c)} C_{e(a,c)} \quad \forall e \forall (a,c) \quad (3.18)$$

$$E_{e(a,c)} \leq \text{MaxExc}_{(a,c)} \text{MaxCla}_{(a,c)} (1 - B_{e(a,c)}) \quad \forall e \forall (a,c) \quad (3.19)$$

$$B_{ea^*c^{**}} + B_{ea^{**}c^*} \geq 1 \quad \forall e \forall (a^*,c^*), (a^{**},c^{**}) \text{ } a^* \neq a^{**} \quad (3.20)$$

$$\sum_u \sum_{g \in c} A_{ueg} - \text{MinEstTol}_{(a,c)} C_{e(a,c)} + D_{e(a,c)} \geq 0 \quad \forall e \forall (a,c) \quad (3.21)$$

$$\sum_u \sum_g A_{ueg} \geq \text{MatMin } X_e \quad \forall e \quad (3.22)$$

$$\sum_{c|(a,c)\text{ existe}} C_{e(a,c)} \leq \sum_d R_{ed} \quad \forall e \forall a \quad (3.23)$$

$$R_{ed} \leq \text{AulExi}_{ed} \quad \forall e \text{ } d \neq 4 \quad (3.24)$$



$$S_e + SanExi_e \geq 2 X_e \quad \forall e \quad (3.25)$$

$$A_{ueg} \in \mathbb{N} \quad \forall u \forall e \forall g \quad (3.26)$$

$$C_{e(a,c)} \in \mathbb{N} \quad \forall e \forall (a, c) \quad (3.27)$$

$$N_{e(a,c)} \in \{0, 1\} \quad \forall e \forall (a, c) \quad (3.28)$$

$$E_{e(a,c)} \in \mathbb{N} \quad \forall e \forall (a, c) \quad (3.29)$$

$$B_{e(a,c)} \in \{0, 1\} \quad \forall e \forall (a, c) \quad (3.30)$$

$$D_{e(a,c)} \in \mathbb{N} \quad \forall e \forall (a, c) \quad (3.31)$$

$$R_{ed} \in \mathbb{N} \quad \forall e \forall d \quad (3.32)$$

$$S_e \in \mathbb{N} \quad \forall e \quad (3.33)$$

$$X_e \in \{0,1\} \quad \forall e \quad (3.34)$$

La primera función objetivo  $f_1$  minimiza los costos de transporte a los que se ven obligados los estudiantes para llegar a sus escuelas (la transmisión); la segunda función objetivo  $f_2$  minimiza los costos económicos adyacentes a que una escuela opere: costos de operación (sueldos y bonos) y costos de infraestructura (equipo, construcción y reconstrucción); la tercera función objetivo  $f_3$  minimiza las penalizaciones por déficit <sup>3</sup> y exceso <sup>4</sup> de estudiantes en cada clase.

(3.9), (3.8) y (3.10) hacen referencia a las funciones objetivo del modelo de localización. (3.11); junto con (3.12), (3.13) y (3.18); aseguran que todo estudiante deba ser asignado a una escuela a operar. (3.12) define el número de clases en cada escuela a operar y limita el número total de estudiantes en sus clases. (3.13) limita el número de clases que puedan abrirse en una escuela a operar y asegura que no se abran clases en escuelas que no operarán. (3.14) y (3.15) evitan que existan clases de diferentes agrupaciones en una misma escuela a operar. (3.16) asegura que, en una escuela a operar, deba haber clases para todos los grados de ese nivel educativo. (3.17) no permite que, en escuelas a operar de agrupaciones distintas a la única, tengan más de una clase con la misma configuración. (3.18) limita el número de estudiantes en exceso que pueda haber en una clase.

(3.19) y (3.20) restringen a que la única penalización por exceso de estudiantes posible en una escuela sea de acuerdo con su agrupación y configuración. (3.21)

---

<sup>3</sup>El déficit de estudiantes se refiere a los lugares vacantes para alcanzar un mínimo de estudiantes tolerable por clase.

<sup>4</sup>El exceso de estudiantes se refiere al número de estudiantes que sobrepase el máximo de estudiantes tolerable por clase.

contabiliza el déficit de estudiantes por clase. (3.22) establece el mínimo número de estudiantes a atender en una escuela para que esta opere. (3.23) no permite que existan clases sin aula asignada. Un aula nueva representa mayor costo que un aula existente (independientemente si tiene daños rescatables o no), por lo que usar aulas existentes sería más económico, (3.24) asegura que las aulas a usar si existen. (3.25) estipula que en cada escuela a operar deberán existir al menos dos sanitarios. De (3.26) a (3.34) se indican la naturaleza de las variables (en esta tesis los números naturales incluyen al cero).

Para solucionar el modelo de localización propuesto se escogió el método de las sumas ponderadas porque permite resolver el problema aun cuando no exista, con antelación, una prioridad cuantitativa determinada para las funciones objetivo; que es el caso en que se encuentra esta metodología. Con esta técnica el tomador de decisiones escoge, de una gama de soluciones, la que mejor le parezca (cada una de estas soluciones es la consecuencia de haber asignado un porcentaje de prioridad a cada una de las funciones objetivo). De esta manera se tiene la oportunidad de tomar la decisión después de encontrar respuestas.

## CAPÍTULO 4

### CASO DE ESTUDIO

El día 7 de septiembre de 2017, el Servicio Sismológico Nacional (SSN) reportó un sismo con magnitud 8.2 localizado en el Golfo de Tehuantepec, a 133 km al suroeste de Pijijiapan, Chiapas. El sismo, ocurrido a las 23:49:17 horas (04:49 UTM), no sólo fue sentido en el sur del país, también se percibió en el centro. Las coordenadas del epicentro son 14.761° latitud N y -94.103° longitud W y la profundidad es de 45.9 km. (***Servicio Sismológico Nacional [SSN], 2017***)

A través del Diario Oficial de la Federación, el jueves 14 de septiembre de 2017 se realiza la declaratoria de desastre natural por la ocurrencia del sismo en 283 municipios del estado de Oaxaca, y el lunes 18 de septiembre de 2017 se declara emergencia extraordinaria para los 41 municipios de la región Istmo del estado de Oaxaca por la presencia del mismo sismo. (***Puente E. L. F., 2017, [30]; Puente E. L. F., 2017, [31]***)

Dos días después de ocurrido el sismo, se habían registrado 482 réplicas y quince días después, ya eran 4326 réplicas, cuya distribución abarca todo el Golfo de Tehuantepec. Las 2 réplicas mayores alcanzaron una magnitud de 5.8 y 6.1, ocurrieron el 8 de septiembre a las 00:24 horas y el 23 de septiembre a las 07:52 horas, respectivamente. (***Servicio Sismológico Nacional [SSN], 2017***)

## 4.1. Determinación de los objetos de estudio

Santa María Jalapa del Marqués, uno de los 41 municipios que fueron declarados en emergencia extraordinaria, es la zona elegida a estudiar en la metodología expuesta. En la figura 2 se observa un mapa de la zona a estudiar elegida y del epicentro del terremoto.

### Zona elegida como objeto de estudio

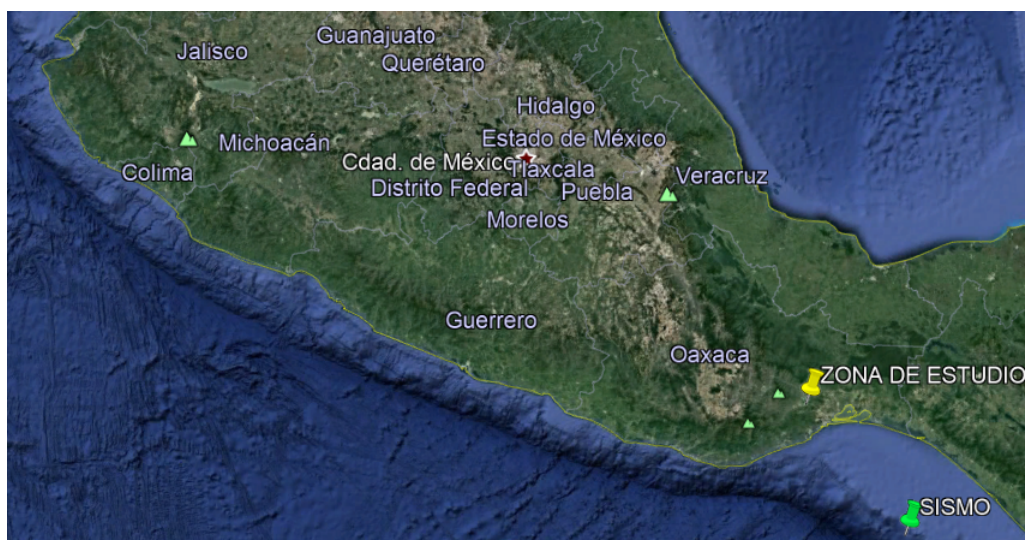


Figura 2: Mapa de la zona elegida y del epicentro del terremoto. La zona elegida está marcada en amarillo, el epicentro está marcado en verde.

Al menos, hasta abril del 2019, casi todas las escuelas del municipio de Santa María Jalapa del Marqués continuaban sin recibir apoyo en la reparación de los daños en la infraestructura. En algunas escuelas se demolieron aulas imposibles de reparar y se construían nuevas, pero a la fecha mencionada, las obras continuaban inconclusas y no había autoridad encargada en el área de reconstrucción.

Posterior a la fecha del siniestro y al menos, hasta febrero de 2019, los profesores y padres de familia de tales escuelas, expresaban sus inconformidades respecto a la falta de respuesta y apoyo por parte de las autoridades con bloqueos y ma-

nifestaciones. En las figuras 4.1, 4.1 se representa la localización geográfica del estado Oaxaca y del municipio de Santa María Jalapa del Marqués.

### Oaxaca en México



Figura 3: Mexico dividido en sus 32 entidades federativas, Oaxaca (sombreado) es una de ellas.

### Santa María Jalapa del Marqués en Oaxaca

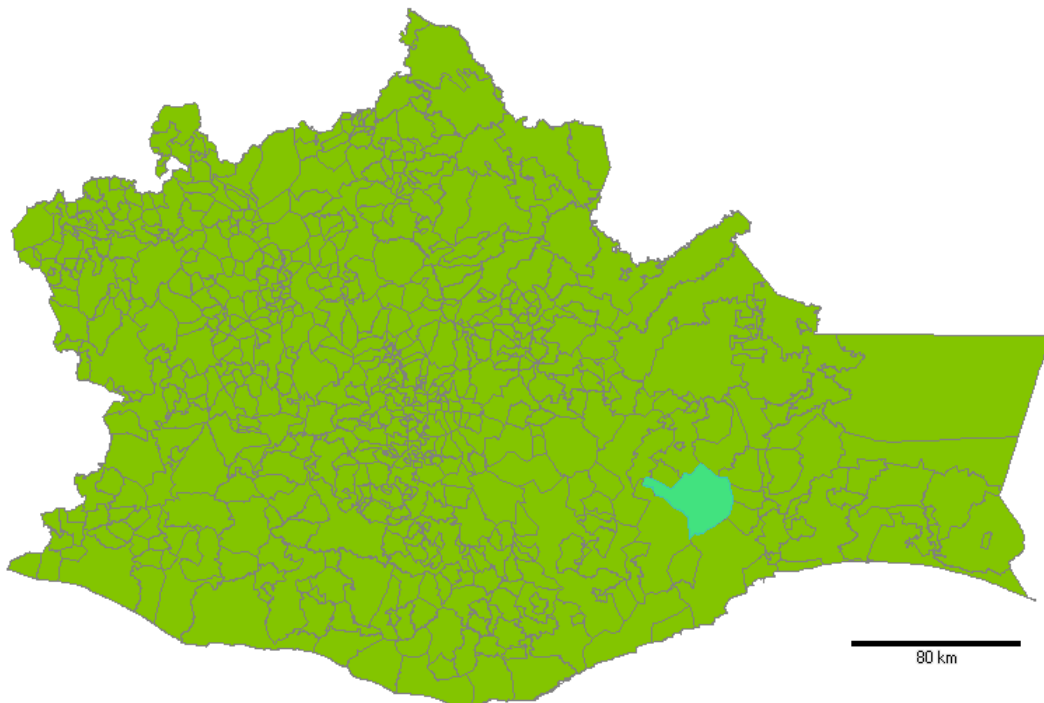


Figura 4: Oaxaca dividido en sus 570 municipios, Santa María Jalapa del Marqués (sombreado) es uno de ellos.

Durante el levantamiento de la encuesta, uno de los profesores mencionó que es poco lo que se hace por su escuela, que son los padres de familia (personas de muy bajos recursos) quienes se ven obligados a tratar de adecuar algún espacio para los estudiantes. Otro profesor, de otra escuela, mencionó que su situación asemeja a las de los nómadas, pues se han visto en la necesidad de moverse de casa en casa para impartir clases, debido a la falta de un espacio propio y seguro luego del terremoto. Estos sólo unos ejemplos de la inconformidad de los profesores de las escuelas de la zona.

Según el Censo de Población y Vivienda 2010, del Instituto Nacional de Estadística y Geografía, el municipio de Santa María Jalapa del Marqués está conformado por 25 localidades (sólo una es considerada urbana). Como se mencionó en el capítulo anterior, las manzanas de la localidad urbana (238 manzanas urbanas) y las localidades rurales (24 localidades rurales) conforman los 262 bloques en los que el municipio de Santa María Jalapa del Marqués es dividido para poder implementar la metodología propuesta. En la 4.1 se observa la localización de estos bloques.

#### **Bloques de Santa María Jalapa del Marqués**

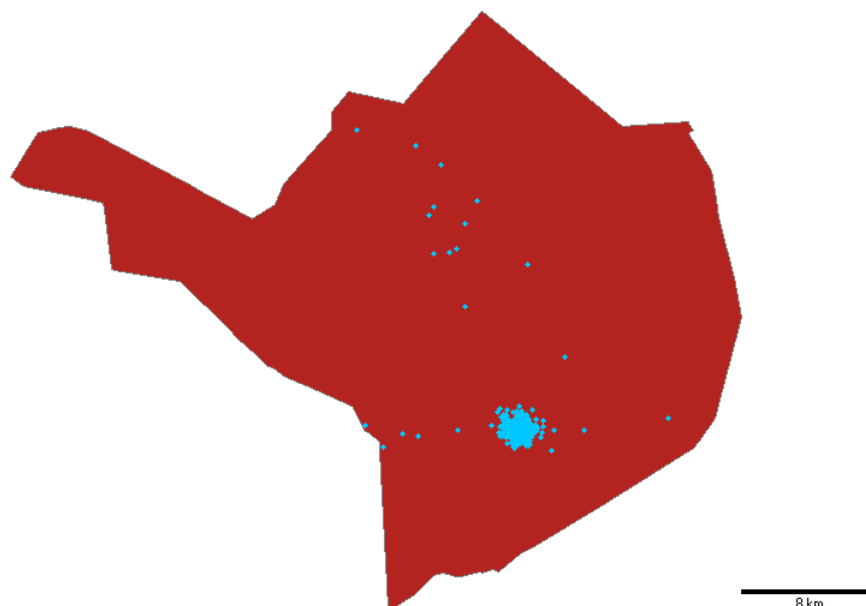


Figura 5: Representación de los centroides de los bloques del municipio de Santa María Jalapa del Marqués.

## 4.2. Cálculo de la población de interés a futuro

El horizonte de planeación definido es de 6 ciclos escolares: del ciclo escolar agosto/2020-julio/2021 hasta agosto/2025-julio/2026. Considerando que la población del municipio de Santa María Jalapa del Marqués continua en crecimiento, al trabajar con las proyecciones poblacionales del año 2026 se estaría garantizando que la demanda de escuelas será menor para los años anteriores. Por lo que la prescripción hecha por la metodología es suficiente, al menos hasta el último año del horizonte de planeación.

Por otro lado, los datos estadísticos más recientes que fueron la base de esta metodología corresponden al Censo de Población y Vivienda del año 2010. A continuación, y como ejemplo, se explica a través de cómo fue obtenido el cálculo de la población en edad de 8 años para el bloque 240.

Para realizar estos cálculos, se están realizando algunas suposiciones. Esto es inevitable cuando se pretende hacer cálculos de población a futuro. Las suposiciones hechas son que la distribución proporcional de la población sobre el espacio es igual en distintos niveles temporales (el año 2010 y los años futuros dentro del horizonte de planeación) y que la distribución proporcional de la población sobre cada uno de los grupos de edades es igual para distintos niveles espaciales (el estado, el municipio, el grupo de localidades y el bloque).

Según las proyecciones de CONAPO y la SEP, habrá 75 764 y 85 609 habitantes, respectivamente, en el estado de Oaxaca que cumplirán 8 años durante todo el año 2025. Por ello se calcula  $\max \{ 85\,609, 75\,764 \} = 85\,609$ . La razón por la que se toma el máximo de ambos datos es porque estos datos indican lo mismo, pero son calculados por instituciones distintas. Al tomar el máximo se garantiza las dos posibles futuras demandas. Esto quiere decir que habría 85 609 habitantes que necesitarían cursar el tercer grado de primaria (aquellos que cumplirían 8 años durante el año 2025). Ver figura 6.



## Ejemplo del cálculo de población de interés a futuro

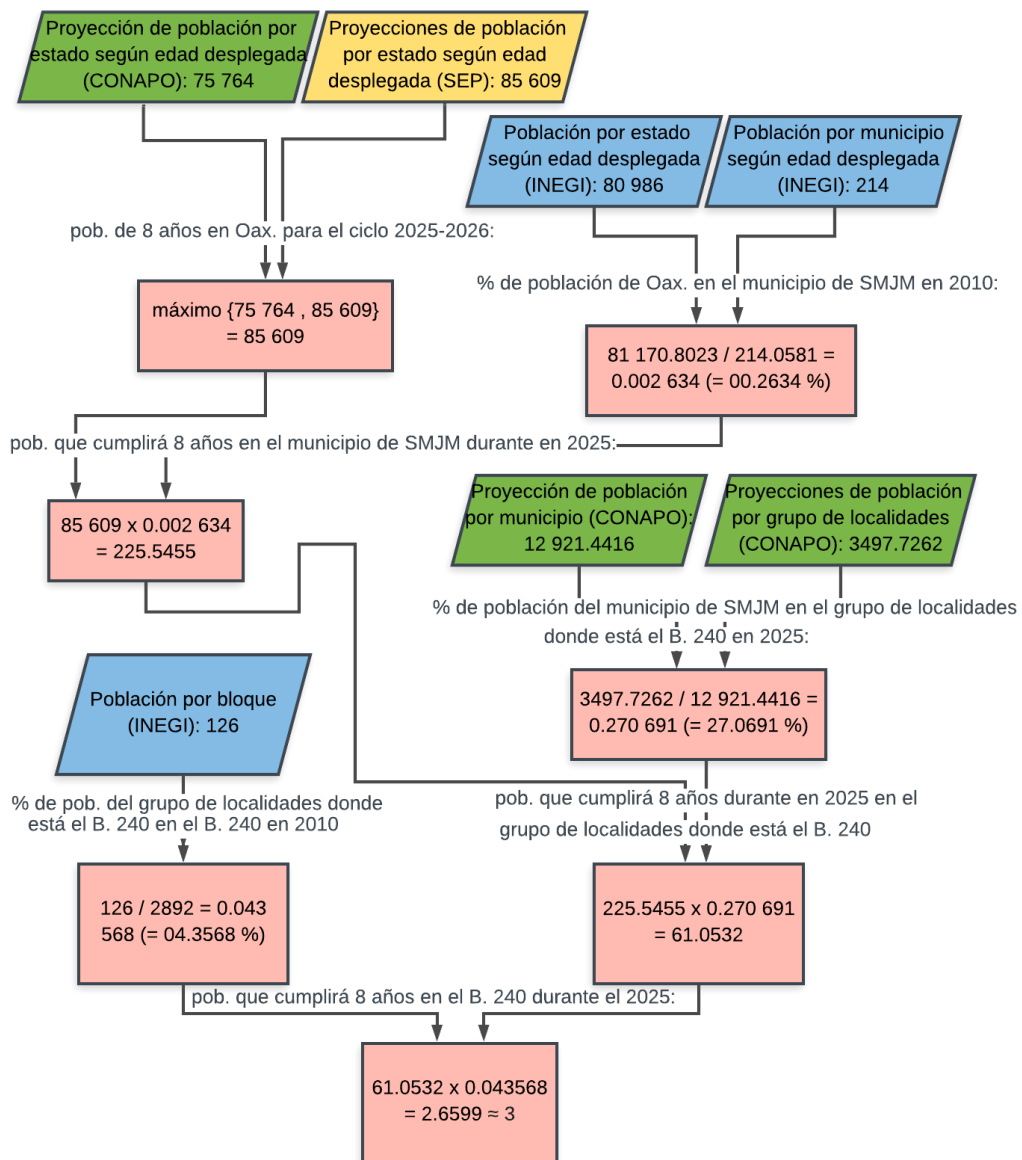


Figura 6: Diagrama de flujo del cálculo la población que cumplirá 8 años durante el año 2025 en el bloque 240.

Del Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI se obtienen la población, de 8 años, en el estado de Oaxaca y en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués: 22 601 y 214, respectivamente. En el mismo censo hubo 22,601 habitantes en el estado de Oaxaca que no declararon su edad (los motivos no son mencionados). Esos 22,601 habitantes se distribuyen en los 86 grupos de edad (0 años, 1 año, 2 años, ..., 83 años, 84 años, 85 años y más) de manera lineal,

de forma que 80 908 se transforma a  $81\,170.8023 (= 80\,908 + (22\,601 / 86))$ . El dato de los 214 habitantes del municipio de Santa María Jalapa del Marqués se ajusta, de la misma manera (considerando las 5 personas que no declararon su edad), a 214.0581. A partir de estos ajustes se calcula el porcentaje de población de 8 años del estado de Oaxaca que vive en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués del año 2010, este valor es 0.2634 % ( $81\,170.8023 / 214.0581 = 0.002\,634$ ). Ver figura 6.

Con este porcentaje y con la población en el estado de Oaxaca que cumplirán 8 años durante todo el año 2025 se calcula la población que cumplirá 8 años durante el 2025 en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués, este valor es de 225.5455 ( $= 85\,609 \times 0.002\,634$ ). Ver figura 6.

Del CONAPO se obtienen la proyección de población, para el año 2025, en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués y en el grupo de localidades al que pertenece el bloque 240: 12 921.4416 y 3497.7262, respectivamente. A partir de estos se calcula el porcentaje de población del municipio de Santa María Jalapa del Marqués del año 2025 que vive en el grupo de localidades al que pertenece el bloque 240, este valor es 27.0691 % ( $= 3497.7262 / 12\,921.4416$ ). Ver figura 6.

Con este último porcentaje y con la población que cumplirá 8 años durante el 2025 en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués se calcula la población que cumplirá 8 años durante el 2025 en el grupo de localidades al que pertenece el bloque 240, este valor es 61.0532 ( $= 225.5455 \times 0.270\,691$ ). Ver figura 6.

Del Censo de Población y Vivienda 2010 del INEGI se obtienen la población, en el grupo de localidades del que forma parte el bloque 240 y en el bloque 240; estos datos son 2892 y 126, respectivamente. A partir de estos se calcula el porcentaje de población del grupo de localidades al que pertenece el bloque 240 que vive en el bloque 240, este valor es 4.3568 % ( $= 126 / 2892$ ). Ver figura 6.

Con este último porcentaje y con la población que cumplirá 8 años durante el 2025 en el grupo de localidades al que pertenece el bloque 240 se calcula la población que cumplirá 8 años durante el 2025 en el bloque 240, este valor es 3 ( $\approx 2.6599 = 61.0532 \times 0.043568$ ). Ver figura 6.

De esta manera y bajo las suposiciones ya mencionadas, podemos decir que en el bloque 240 habrá 3 personas que cumplirán 8 años durante el año 2025, por lo que esto representa una demanda de 3 estudiantes para el tercer grado de primaria. El mismo procedimiento fue usado para calcular la población para cada edad de interés en cada uno de los bloques. Los resultados se encuentran en el anexo B.

### 4.3. Obtención de información de escuelas

La información obtenida de cada una de las escuelas existentes, a partir de las encuestas aplicadas, y que forma parte de los datos que alimentan al modelo de localización propuesto se resume en la tabla 34.

Por ahora los valores de  $d$  se adelantan (la condición de la infraestructura de las aulas). En el subcapítulo 4.5 se aclara el significado de cada uno de estos valores. La información que aquí aparece se refiere a las escuelas existentes. Las escuelas candidatas nuevas que se proponen en el capítulo 4.5 tienen cero sanitarios y cero aulas de cualquier valor  $d$ .

#### Condición de las aulas

# de escuela	Nivel educativo	Bloque	# de aulas con la condición $d$					# de sanitarios
			0	1	2	3	4	
01	preescolar	017	0	3	0	0	0	1
02	preescolar	018	1	0	0	1	1	2
03	preescolar	033	0	0	0	0	0	0

04	preescolar	035	0	0	0	0	0	0
05	preescolar	107	2	0	0	3	0	2
06	preescolar	131	1	0	0	0	0	2
07	preescolar	198	3	0	0	0	0	2
08	preescolar	216	1	0	0	0	0	1
09	preescolar	239	0	0	0	0	0	0
10	preescolar	240	0	0	1	0	0	0
11	preescolar	241	1	1	0	0	0	1
12	preescolar	242	1	0	0	0	0	1
13	preescolar	245	2	0	0	0	0	2
14	preescolar	246	1	0	0	0	0	1
15	preescolar	247	0	0	0	0	0	1
16	preescolar	249	1	0	0	0	0	1
17	preescolar	252	1	0	0	0	0	2
18	primaria	004	11	2	0	0	3	2
19	primaria	018	3	1	0	3	0	1
20	primaria	033	0	0	0	0	0	0
21	primaria	035	0	0	0	0	0	0
22	primaria	048	10	0	0	0	0	2
23	primaria	131	6	0	2	0	0	2
24	primaria	216	19	0	0	0	0	4
25	primaria	216	19	0	0	0	0	4
26	primaria	239	0	0	0	0	3	0
27	primaria	240	1	0	0	0	2	2
28	primaria	241	5	0	0	1	0	2
29	primaria	242	0	0	0	0	3	0
30	primaria	243	0	2	0	0	0	2
31	primaria	244	0	1	0	0	0	2
32	primaria	245	6	1	0	0	0	4
33	primaria	246	2	0	0	1	0	2
34	primaria	247	1	0	0	0	3	1

35	primaria	249	1	1	0	0	0	2
36	primaria	250	0	0	0	1	0	0
37	primaria	252	1	0	0	0	0	2
38	secundaria	017	5	5	0	0	0	2
39	secundaria	035	0	0	0	0	0	0
40	secundaria	085	4	0	2	0	0	2
41	secundaria	165	9	0	0	0	0	2
42	secundaria	240	1	0	0	0	0	2
43	secundaria	241	2	0	0	0	0	2
44	secundaria	242	0	3	0	0	0	2
45	secundaria	243	0	0	1	0	0	0
46	secundaria	245	3	0	0	0	0	1
47	secundaria	252	1	0	0	0	0	2
48	media superior	242	0	0	0	0	0	0
49	media superior	258	15	0	0	0	0	3

Tabla 8: Información sobre escuelas existentes en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués.

#### 4.4. Mediciones geográficas

Las distancias carreteras fueron medidas con Google Maps, solicitando la ruta a pie entre dos puntos, las coordenadas de los puntos corresponden a las coordenadas del centroide de los bloques.

Las distancias euclidianas ponderadas fueron medidas con el Mapa Digital de México para Escritorio versión 6.3.0 y Google Maps. Para la única localidad urbana del municipio de Santa María Jalapa del Marqués se escogieron 100 pares de bloques, se midió la distancia en línea recta entre los centroides de cada par con el Mapa Digital de México para Escritorio y la distancia carretera con Google Maps. Por cada par se calculó el factor de proporción entre ambas medidas. Después se promediaron los cien factores de proporción para obtener el factor de conversión

de la localidad de Santa María Jalapa del Marqués. En el caso de estudio sólo hay una localidad urbana, por lo que sólo hay un factor de conversión (0.7800 08). En el anexo C se encuentran las mediciones hechas para calcular este factor de conversión.

Antes de que las distancias entre los bloques del municipio de Santa María Jalapa del Marqués sean reportadas, se explicará un ejemplo particular: el cálculo de la distancia entre el bloque 154 y el bloque 239. La figura 7 nos ayudará a entender el proceso.

### Distancia entre dos bloques

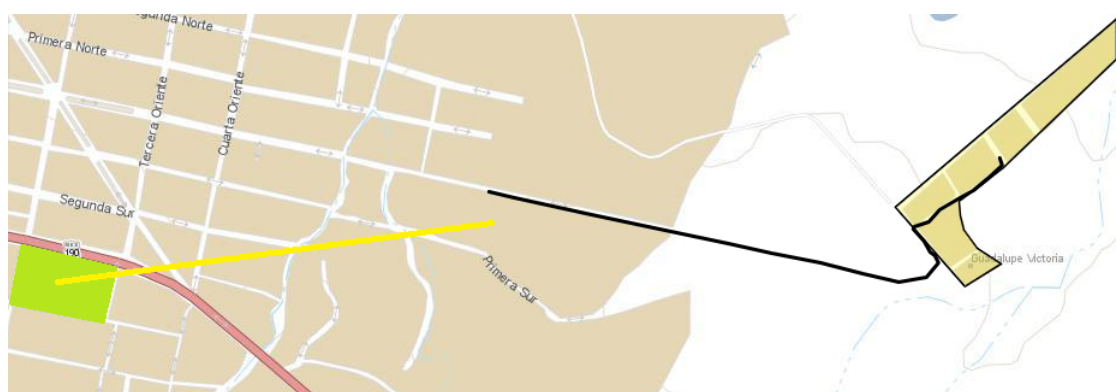


Figura 7: Distancia (conformada por la trayectoria en negro y la trayectoria en amarillo) entre dos bloques que debe ser calculada como distancia mixta.

El bloque 154 es una manzana urbana (en verde) y el bloque 239 es una localidad rural (en café), por lo tanto, deberá calcularse una distancia mixta. Esta distancia se compone de dos trayectorias: la trayectoria en negro y la trayectoria en amarillo. La trayectoria en negro es medida como distancia carretera, desde el punto carretero más cercano al centroide del bloque 239 hasta el punto más cercano del centroide del bloque 190, y resulta ser 1000 metros. La trayectoria en amarillo es medida como distancia euclidiana, desde el centroide del bloque 190 hasta el centroide del bloque 154, y resultan ser 813.1248 metros; después es ajustada por el factor de conversión, resultando ser 1042.4571 metros. De esta manera la distancia entre el bloque 154 y el bloque 239 es 2042.4571 metros. El bloque 190 es empleado como parteaguas entre las dos trayectorias por ser el bloque dentro de la localidad urbana más cercano al bloque 239.

Dado que en el caso de estudio existen 262 bloques, por cada nivel educativo, sólo reportaremos las distancias entre todo bloque que es sitio candidato a instalar una escuela, las escuelas existentes del subcapítulo 4.3 y las escuelas candidatas nuevas que surgen en el capítulo 4.5 (se adelanta información), y todo bloque que es sitio de demanda. Las distancias entre las escuelas existentes y todo bloque que es sitio de demanda forman parte de los datos que alimentan al modelo de cobertura propuesto y las distancias entre todo sitio candidato a instalar una escuela y todo bloque con población de interés forman parte de los datos que alimentan al modelo de localización propuesto. Estas últimas distancias se encuentran reportadas en las tablas 9 y 10 para el nivel educativo preescolar, en las tablas 11 y 12 para el nivel educativo primaria, en la tabla 13 para el nivel educativo secundaria y en la tabla 14 para el nivel educativo medio superior.

### Distancias en el nivel educativo preescolar 1

Bloque con población de interés	Bloque:# de escuela									
	017:01	018:02	033:03	035:04	107:05	131:06	198:07	216:08	239:09	240:10
001	1013	1683	527	841	484	1111	458	597	3005	23005
002	1055	1541	420	719	518	1235	316	535	2822	22822
003	2198	1395	762	498	1058	2386	1066	1518	2071	22071
008	1787	1305	351	133	729	1985	665	1121	2144	22144
013	1348	2245	915	1223	475	1039	1031	1168	3604	23604
017	0	1994	1457	1704	1481	796	1139	723	3793	23793
018	1994	0	1388	1191	1877	2596	1225	1351	1801	21801
019	571	1424	1099	1273	1304	1241	718	268	3091	23091
022	1396	653	1279	1235	1702	2078	959	863	2409	22409
023	759	1235	1080	1207	1355	1433	688	311	2895	22895
024	580	1492	925	1139	1082	1111	571	148	3062	23062
029	1662	674	719	528	1210	2111	638	941	1668	21668
030	1580	567	835	694	1318	2092	665	875	1784	21784
032	1564	1617	243	472	303	1625	604	1008	2659	22659
033	1457	1388	0	323	492	1637	392	833	2431	22431
034	1366	1341	104	368	539	1583	288	730	2430	22430
035	1704	1191	323	0	770	1951	568	1020	2054	22054
037	1371	2015	659	961	216	1211	825	1047	3274	23274
038	1278	1983	654	968	270	1138	777	968	3269	23269

039	1763	2020	650	846	284	1633	978	1325	3122	23122
040	517	2048	1147	1445	1038	552	941	702	3666	23666
041	500	1856	1015	1298	983	742	771	511	3436	23436
042	552	1666	906	1165	964	931	614	321	3212	23212
043	637	1664	827	1097	871	944	560	346	3166	23166
044	2069	328	1213	965	1704	2592	1141	1374	1381	21381
046	1063	1917	687	1010	444	984	691	792	3272	23272
047	786	2053	979	1295	787	658	863	768	3565	23565
048	1174	2561	1353	1675	984	593	1344	1300	4136	24136
049	1232	2309	1029	1346	630	862	1084	1148	3742	23742
052	812	1676	681	974	686	996	489	452	3092	23092
053	776	1868	825	1133	714	820	679	604	3332	23332
054	877	1879	766	1082	617	871	669	662	3303	23303
056	899	1477	558	819	706	1188	294	348	2842	22842
058	971	1521	492	774	606	1195	304	447	2845	22845
059	970	1894	720	1041	529	926	672	723	3282	23282
060	1074	1720	510	830	416	1130	496	666	3020	23020
064	695	2046	1030	1340	869	611	880	734	3593	23593
065	885	2066	933	1253	701	718	857	816	3542	23542
066	976	2082	899	1221	628	780	863	868	3527	23527
067	1070	2099	868	1191	555	852	875	925	3513	23513
068	762	2391	1372	1689	1138	270	1239	1054	4053	24053
070	1117	1404	340	607	581	1362	183	513	2643	22643
071	1200	1257	308	504	676	1502	84	533	2451	22451
072	1286	1126	342	436	778	1631	154	586	2278	22278
073	1218	1101	423	521	835	1600	127	508	2314	22314
075	1050	1201	511	673	841	1448	119	347	2515	22515
077	1087	1060	618	713	990	1558	246	364	2410	22410
078	1034	1055	705	800	1063	1546	326	319	2467	22467
079	1360	734	763	711	1216	1882	504	657	2057	22057
080	1218	901	671	691	1093	1716	357	502	2232	22232
081	1316	730	835	799	1274	1869	545	630	2136	22136
082	1172	893	755	783	1162	1707	419	472	2296	22296
083	1300	1476	179	497	419	1458	334	720	2618	22618
084	1394	1520	149	467	358	1515	427	823	2621	22621
085	1483	1567	179	458	319	1572	518	920	2634	22634
086	1544	1441	99	310	463	1691	491	930	2446	22446
087	1444	1214	176	260	664	1709	314	770	2247	22247
093	876	1141	883	1001	1191	1465	492	228	2682	22682
094	1026	971	1072	1126	1428	1688	697	483	2616	22616
107	1481	1877	492	770	0	1406	745	1053	3040	23040
110	1117	2285	1050	1372	695	752	1061	1078	3753	23753
113	1594	2613	1264	1558	788	1102	1401	1518	4046	24046
115	1907	2397	1015	1227	560	1611	1304	1590	3609	23609



117	643	1351	1064	1224	1295	1304	677	243	3002	23002
120	1511	2709	1399	1707	949	935	1485	1537	4225	24225
126	1788	1892	550	707	323	1724	910	1294	2932	22932
131	796	2596	1637	1951	1406	0	1482	1246	4364	24364
133	1527	1266	141	194	626	1756	408	865	2250	22250
134	1626	1125	312	100	792	1906	487	933	2031	22031
136	1176	1949	661	982	347	1063	729	883	3266	23266
137	1198	1767	474	797	287	1201	559	786	3021	23021
138	1244	1607	309	632	331	1338	421	733	2801	22801
139	1343	1649	292	608	245	1400	500	837	2805	22805
140	1430	1690	308	602	187	1457	575	926	2816	22816
141	1391	1844	474	774	91	1334	683	970	3035	23035
142	1300	1805	464	778	183	1269	619	882	3024	23024
143	591	1855	947	1239	893	757	730	527	3396	23396
144	606	2047	1087	1392	952	574	908	714	3628	23628
145	653	2182	1195	1505	1014	448	1037	848	3795	23795
146	692	2272	1272	1585	1067	366	1124	936	3907	23907
147	683	1859	883	1183	804	784	699	558	3361	23361
148	722	1668	753	1034	780	965	519	391	3127	23127
149	723	1486	743	981	889	1119	420	194	2956	22956
150	741	2202	1160	1476	948	478	1032	883	3786	23786
151	833	2213	1118	1438	873	536	1022	918	3765	23765
152	1658	948	474	248	963	2005	536	942	1834	21834
153	1733	999	476	196	952	2053	601	1022	1821	21821
154	1542	1076	319	201	811	1853	404	840	2042	22042
157	426	1568	1207	1400	1366	1137	837	381	3284	23284
158	984	1059	797	893	1141	1538	414	292	2536	22536
159	1272	739	912	891	1338	1858	598	612	2227	22227
160	1129	896	842	877	1235	1701	491	456	2371	22371
161	1525	822	567	437	1055	1945	468	802	1872	21872
162	1769	797	654	400	1141	2160	680	1046	1609	21609
163	1706	745	667	447	1159	2123	642	983	1643	21643
164	1625	613	776	609	1264	2105	650	910	1710	21710
166	1509	571	872	761	1344	2047	657	816	1897	21897
168	1882	1680	472	492	534	1925	864	1300	2598	22598
170	1518	1734	346	608	164	1520	654	1016	2833	22833
171	1465	2043	667	953	184	1294	875	1124	3273	23273
173	869	1193	784	927	1077	1403	392	160	2678	22678
174	246	1749	1306	1525	1405	988	957	514	3500	23500
176	290	1712	1221	1445	1319	974	877	440	3423	23423
177	350	1676	1138	1366	1236	970	798	373	3347	23347
179	412	1656	1059	1294	1152	962	728	323	3286	23286
180	475	1666	983	1231	1057	935	671	315	3254	23254
182	1276	912	591	597	1030	1737	316	553	2166	22166

183	1354	914	527	502	988	1783	320	631	2085	22085
185	638	2309	1351	1661	1161	297	1185	963	3983	23983
186	934	2246	1098	1421	813	595	1039	977	3771	23771
187	1020	2264	1073	1396	755	666	1046	1023	3762	23762
188	1187	2128	846	1165	476	946	905	1005	3505	23505
189	1469	555	954	864	1415	2042	704	799	2000	22000
190	2178	625	1116	822	1591	2624	1143	1461	1000	21000
191	1614	1322	174	165	607	1811	506	962	2262	22262
193	792	1496	666	917	802	1130	369	265	2921	22921
194	898	1717	634	941	589	1011	505	542	3098	23098
196	1341	1153	278	370	734	1657	202	650	2260	22260
197	1257	1281	238	450	626	1529	154	601	2436	22436
202	983	1206	591	751	901	1416	200	270	2572	22572
203	887	1347	607	819	836	1278	252	230	2738	22738
207	1465	1011	380	313	866	1818	342	753	2046	22046
211	791	1367	717	923	930	1236	355	124	2822	22822
219	1412	751	692	619	1158	1900	475	697	1982	21982
222	1651	1670	320	499	318	1687	694	1101	2687	22687
224	1930	1856	594	666	494	1899	981	1395	2825	22825
234	521	2237	1345	1647	1197	360	1146	887	3927	23927
239	3793	1801	2431	2054	3040	4364	2466	2873	0	20500
240	23793	21801	22431	22054	23040	24364	22466	22873	20500	0
241	7737	9273	7594	7988	7017	6999	7704	7770	10025	30025
242	41037	42573	40894	41288	40317	40299	41004	41070	43325	63325
243	54937	56473	54794	55188	54217	54199	54904	54970	57225	77225
244	11993	10001	10631	10254	11240	12564	10666	11073	8800	15700
245	10537	12073	10394	10788	9817	9799	10504	10570	12825	32825
246	46937	48473	46794	47188	46217	46199	46904	46970	49225	69225
247	35593	33601	34231	33854	34840	36164	34266	34673	32300	12600
249	9637	11173	9494	9888	8917	8899	9604	9670	11925	31925
250	44037	45573	43894	44288	43317	43299	44004	44070	46325	66325
252	45937	47473	45794	46188	45217	45199	45904	45970	48225	68225
253	6137	7673	5994	6388	5417	5399	6104	6170	8425	28425

Tabla 9: Distancias (en metro) entre los sitios de demanda (bloques con habitantes entre 3 años y 5 años) y los sitios candidatos a instalar una escuela preescolar. Primera parte

## Distancias en el nivel educativo preescolar 2

Bloque con población de interés	Bloque:# de escuela									
	241:11	242:12	243:50	244:51	245:13	246:14	247:15	249:16	250:52	252:17
001	7122	40422	54322	11205	9922	46322	34805	9022	43422	45322
002	7299	40599	54499	11022	10099	46499	34622	9199	43599	45499

003	8358	41658	55558	10271	11158	47558	33871	10258	44658	46558
008	7950	41250	55150	10344	10750	47150	33944	9850	44250	46150
013	6421	39721	53621	11804	9221	45621	35404	8321	42721	44621
017	7737	41037	54937	11993	10537	46937	35593	9637	44037	45937
018	9273	42573	56473	10001	12073	48473	33601	11173	45573	47473
019	7964	41264	55164	11291	10764	47164	34891	9864	44264	46164
022	8844	42144	56044	10609	11644	48044	34209	10744	45144	47044
023	8147	41447	55347	11095	10947	47347	34695	10047	44447	46347
024	7683	40983	54883	11262	10483	46883	34862	9583	43983	45883
029	8467	41767	55667	9868	11267	47667	33468	10367	44767	46667
030	8549	41849	55749	9984	11349	47749	33584	10449	44849	46749
032	7403	40703	54603	10859	10203	46603	34459	9303	43703	45603
033	7594	40894	54794	10631	10394	46794	34231	9494	43894	45794
034	7604	40904	54804	10630	10404	46804	34230	9504	43904	45804
035	7988	41288	55188	10254	10788	47188	33854	9888	44288	46188
037	6757	40057	53957	11474	9557	45957	35074	8657	43057	44957
038	6757	40057	53957	11469	9557	45957	35069	8657	43057	44957
039	7120	40420	54320	11322	9920	46320	34922	9020	43420	45320
040	7095	40395	54295	11866	9895	46295	35466	8995	43395	45295
041	7245	40545	54445	11636	10045	46445	35236	9145	43545	45445
042	7418	40718	54618	11412	10218	46618	35012	9318	43718	45618
043	7341	40641	54541	11366	10141	46541	34966	9241	43641	45541
044	9121	42421	56321	9581	11921	48321	33181	11021	45421	47321
046	6821	40121	54021	11472	9621	46021	35072	8721	43121	45021
047	6820	40120	54020	11765	9620	46020	35365	8720	43120	45020
048	6253	39553	53453	12336	9053	45453	35936	8153	42553	44453
049	6317	39617	53517	11942	9117	45517	35542	8217	42617	44517
052	7203	40503	54403	11292	10003	46403	34892	9103	43503	45403
053	6998	40298	54198	11532	9798	46198	35132	8898	43298	45198
054	6926	40226	54126	11503	9726	46126	35103	8826	43226	45126
056	7425	40725	54625	11042	10225	46625	34642	9325	43725	45625
058	7341	40641	54541	11045	10141	46541	34645	9241	43641	45541
059	6870	40170	54070	11482	9670	46070	35082	8770	43170	45070
060	7069	40369	54269	11220	9869	46269	34820	8969	43369	45269
064	6908	40208	54108	11793	9708	46108	35393	8808	43208	45108
065	6731	40031	53931	11742	9531	45931	35342	8631	43031	44931
066	6658	39958	53858	11727	9458	45858	35327	8558	42958	44858
067	6599	39899	53799	11713	9399	45799	35313	8499	42899	44799
068	6803	40103	54003	12253	9603	46003	35853	8703	43103	45003
070	7474	40774	54674	10843	10274	46674	34443	9374	43774	45674
071	7663	40963	54863	10651	10463	46863	34251	9563	43963	45863
072	7835	41135	55035	10478	10635	47035	34078	9735	44135	46035
073	7862	41162	55062	10514	10662	47062	34114	9762	44162	46062
075	7757	41057	54957	10715	10557	46957	34315	9657	44057	45957

077	7957	41257	55157	10610	10757	47157	34210	9857	44257	46157
078	8006	41306	55206	10667	10806	47206	34267	9906	44306	46206
079	8347	41647	55547	10257	11147	47547	33857	10247	44647	46547
080	8146	41446	55346	10432	10946	47346	34032	10046	44446	46346
081	8386	41686	55586	10336	11186	47586	33936	10286	44686	46586
082	8194	41494	55394	10496	10994	47394	34096	10094	44494	46394
083	7416	40716	54616	10818	10216	46616	34418	9316	43716	45616
084	7404	40704	54604	10821	10204	46604	34421	9304	43704	45604
085	7401	40701	54601	10834	10201	46601	34434	9301	43701	45601
086	7591	40891	54791	10646	10391	46791	34246	9491	43891	45791
087	7785	41085	54985	10447	10585	46985	34047	9685	44085	45985
093	8047	41347	55247	10882	10847	47247	34482	9947	44347	46247
094	8384	41684	55584	10816	11184	47584	34416	10284	44684	46584
107	7017	40317	54217	11240	9817	46217	34840	8917	43317	45217
110	6389	39689	53589	11953	9189	45589	35553	8289	42689	44589
113	6082	39382	53282	12246	8882	45282	35846	7982	42382	44282
115	6857	40157	54057	11809	9657	46057	35409	8757	43157	45057
117	8005	41305	55205	11202	10805	47205	34802	9905	44305	46205
120	5800	39100	53000	12425	8600	45000	36025	7700	42100	44000
126	7304	40604	54504	11132	10104	46504	34732	9204	43604	45504
131	6999	40299	54199	12564	9799	46199	36164	8899	43299	45199
133	7775	41075	54975	10450	10575	46975	34050	9675	44075	45975
134	7994	41294	55194	10231	10794	47194	33831	9894	44294	46194
136	6778	40078	53978	11466	9578	45978	35066	8678	43078	44978
137	7018	40318	54218	11221	9818	46218	34821	8918	43318	45218
138	7235	40535	54435	11001	10035	46435	34601	9135	43535	45435
139	7220	40520	54420	11005	10020	46420	34605	9120	43520	45420
140	7217	40517	54417	11016	10017	46417	34616	9117	43517	45417
141	6997	40297	54197	11235	9797	46197	34835	8897	43297	45197
142	7001	40301	54201	11224	9801	46201	34824	8901	43301	45201
143	7159	40459	54359	11596	9959	46359	35196	9059	43459	45359
144	6998	40298	54198	11828	9798	46198	35428	8898	43298	45198
145	6902	40202	54102	11995	9702	46102	35595	8802	43202	45102
146	6855	40155	54055	12107	9655	46055	35707	8755	43155	45055
147	7077	40377	54277	11561	9877	46277	35161	8977	43377	45277
148	7269	40569	54469	11327	10069	46469	34927	9169	43569	45469
149	7525	40825	54725	11156	10325	46725	34756	9425	43825	45725
150	6791	40091	53991	11986	9591	45991	35586	8691	43091	44991
151	6684	39984	53884	11965	9484	45884	35565	8584	42984	44884
152	8196	41496	55396	10034	10996	47396	33634	10096	44496	46396
153	8205	41505	55405	10021	11005	47405	33621	10105	44505	46405
154	7989	41289	55189	10242	10789	47189	33842	9889	44289	46189
157	7929	41229	55129	11484	10729	47129	35084	9829	44229	46129
158	8061	41361	55261	10736	10861	47261	34336	9961	44361	46261

159	8428	41728	55628	10427	11228	47628	34027	10328	44728	46628
160	8247	41547	55447	10571	11047	47447	34171	10147	44547	46447
161	8250	41550	55450	10072	11050	47450	33672	10150	44550	46450
162	8426	41726	55626	9809	11226	47626	33409	10326	44726	46626
163	8427	41727	55627	9843	11227	47627	33443	10327	44727	46627
164	8511	41811	55711	9910	11311	47711	33510	10411	44811	46711
166	8546	41846	55746	10097	11346	47746	33697	10446	44846	46746
168	7658	40958	54858	10798	10458	46858	34398	9558	43958	45858
170	7225	40525	54425	11033	10025	46425	34633	9125	43525	45425
171	6784	40084	53984	11473	9584	45984	35073	8684	43084	44984
173	7912	41212	55112	10878	10712	47112	34478	9812	44212	46112
174	7838	41138	55038	11700	10638	47038	35300	9738	44138	46038
176	7761	41061	54961	11623	10561	46961	35223	9661	44061	45961
177	7691	40991	54891	11547	10491	46891	35147	9591	43991	45891
179	7615	40915	54815	11486	10415	46815	35086	9515	43915	45815
180	7508	40808	54708	11454	10308	46708	35054	9408	43808	45708
182	8109	41409	55309	10366	10909	47309	33966	10009	44409	46309
183	8103	41403	55303	10285	10903	47303	33885	10003	44403	46303
185	6947	40247	54147	12183	9747	46147	35783	8847	43247	45147
186	6565	39865	53765	11971	9365	45765	35571	8465	42865	44765
187	6475	39775	53675	11962	9275	45675	35562	8375	42775	44675
188	6545	39845	53745	11705	9345	45745	35305	8445	42845	44745
189	8601	41901	55801	10200	11401	47801	33800	10501	44901	46801
190	9025	42325	56225	9200	11825	48225	32800	10925	45325	47225
191	7777	41077	54977	10462	10577	46977	34062	9677	44077	45977
193	7457	40757	54657	11121	10257	46657	34721	9357	43757	45657
194	7111	40411	54311	11298	9911	46311	34898	9011	43411	45311
196	7815	41115	55015	10460	10615	47015	34060	9715	44115	46015
197	7641	40941	54841	10636	10441	46841	34236	9541	43941	45841
202	7782	41082	54982	10772	10582	46982	34372	9682	44082	45982
203	7618	40918	54818	10938	10418	46818	34538	9518	43918	45818
207	8020	41320	55220	10246	10820	47220	33846	9920	44320	46220
211	7661	40961	54861	11022	10461	46861	34622	9561	43961	45861
219	8311	41611	55511	10182	11111	47511	33782	10211	44611	46511
222	7419	40719	54619	10887	10219	46619	34487	9319	43719	45619
224	7523	40823	54723	11025	10323	46723	34625	9423	43823	45723
234	7087	40387	54287	12127	9887	46287	35727	8987	43387	45287
239	10025	43325	57225	8800	12825	49225	32300	11925	46325	48225
240	30025	63325	77225	15700	32825	69225	12600	31925	66325	68225
241	0	33400	47700	18225	2700	39300	41825	1800	36400	38300
242	33400	0	15900	51525	32900	7400	75125	32000	4600	6500
243	47700	15900	0	65425	47300	8500	89025	46300	14100	9500
244	18225	51525	65425	0	21025	57425	28100	20125	54525	56425
245	2700	32900	47300	21025	0	38800	44625	1400	36000	37900

246	39300	7400	8500	57425	38800	0	81025	37900	5700	1100
247	41825	75125	89025	28100	44625	81025	0	43725	78125	80025
249	1800	32000	46300	20125	1400	37900	43725	0	35000	36900
250	36400	4600	14100	54525	36000	5700	78125	35000	0	4700
252	38300	6500	9500	56425	37900	1100	80025	36900	4700	0
253	1900	35300	49600	16625	4500	41200	40225	3700	38300	40200

Tabla 10: Distancias (en metro) entre los sitios de demanda (bloques con habitantes entre 3 años y 5 años) y los sitios candidatos a instalar una escuela preescolar. Segunda parte

### Distancias en el nivel educativo primaria 1

Bloque con población de interés	Bloque:# de escuela									
	004:18	018:19	033:20	035:21	048:22	131:23	216:24	216:25	239:26	240:27
001	701	1683	527	841	891	1111	597	597	3005	23005
002	623	1541	420	719	1036	1235	535	535	2822	22822
003	605	1395	762	498	2036	2386	1518	1518	2071	22071
008	258	1305	351	133	1673	1985	1121	1121	2144	22144
013	946	2245	915	1223	530	1039	1168	1168	3604	23604
016	1972	2420	1772	2048	1114	572	1123	1123	4312	24312
017	1676	1994	1457	1704	1174	796	723	723	3793	23793
018	1510	0	1388	1191	2561	2596	1351	1351	1801	21801
019	1338	1424	1099	1273	1412	1241	268	268	3091	23091
021	1355	1534	1120	1318	1319	1128	298	298	3206	23206
022	1480	653	1279	1235	2159	2078	863	863	2409	22409
023	1319	1235	1080	1207	1573	1433	311	311	2895	22895
024	1159	1492	925	1139	1209	1111	148	148	3062	23062
028	605	1001	414	400	1605	1761	667	667	2107	22107
029	838	674	719	528	1973	2111	941	941	1668	21668
030	986	567	835	694	2007	2092	875	875	1784	21784
032	176	1617	243	472	1260	1625	1008	1008	2659	22659
033	239	1388	0	323	1353	1637	833	833	2431	22431
034	343	1341	104	368	1335	1583	730	730	2430	22430
035	328	1191	323	0	1675	1951	1020	1020	2054	22054
037	682	2015	659	961	769	1211	1047	1047	3274	23274
038	710	1983	654	968	726	1138	968	968	3269	23269
039	518	2020	650	846	1150	1633	1325	1325	3122	23122
040	1331	2048	1147	1445	693	552	702	702	3666	23666
041	1216	1856	1015	1298	838	742	511	511	3436	23436
042	1124	1666	906	1165	997	931	321	321	3212	23212
043	1040	1664	827	1097	954	944	346	346	3166	23166
044	1293	328	1213	965	2481	2592	1374	1374	1381	21381
046	807	1917	687	1010	675	984	792	792	3272	23272

047	1132	2053	979	1295	532	658	768	768	3565	23565
048	1436	2561	1353	1675	0	593	1300	1300	4136	24136
049	1089	2309	1029	1346	356	862	1148	1148	3742	23742
052	880	1676	681	974	890	996	452	452	3092	23092
053	998	1868	825	1133	705	820	604	604	3332	23332
054	924	1879	766	1082	682	871	662	662	3303	23303
056	782	1477	558	819	1085	1188	348	348	2842	22842
058	705	1521	492	774	1042	1195	447	447	2845	22845
059	861	1894	720	1041	673	926	723	723	3282	23282
060	664	1720	510	830	871	1130	666	666	3020	23020
061	560	1561	370	680	1037	1270	606	606	2808	22808
064	1194	2046	1030	1340	577	611	734	734	3593	23593
065	1069	2066	933	1253	497	718	816	816	3542	23542
066	1019	2082	899	1221	481	780	868	868	3527	23527
067	969	2099	868	1191	487	852	925	925	3513	23513
068	1518	2391	1372	1689	430	270	1054	1054	4053	24053
069	500	1425	277	562	1178	1393	585	585	2629	22629
070	569	1404	340	607	1178	1362	513	513	2643	22643
071	547	1257	308	504	1330	1502	533	533	2451	22451
072	563	1126	342	436	1469	1631	586	586	2278	22278
073	650	1101	423	521	1471	1600	508	508	2314	22314
075	750	1201	511	673	1360	1448	347	347	2515	22515
077	849	1060	618	713	1506	1558	364	364	2410	22410
078	938	1055	705	800	1528	1546	319	319	2467	22467
079	954	734	763	711	1827	1882	657	657	2057	22057
080	885	901	671	691	1662	1716	502	502	2232	22232
081	1033	730	835	799	1843	1869	630	630	2136	22136
082	973	893	755	783	1685	1707	472	472	2296	22296
083	376	1476	179	497	1189	1458	720	720	2618	22618
084	287	1520	149	467	1209	1515	823	823	2621	22621
085	215	1567	179	458	1235	1572	920	920	2634	22634
086	141	1441	99	310	1376	1691	930	930	2446	22446
087	366	1214	176	260	1476	1709	770	770	2247	22247
092	217	1385	367	211	1651	1986	1169	1169	2229	22229
093	1120	1141	883	1001	1525	1465	228	228	2682	22682
094	1300	971	1072	1126	1783	1688	483	483	2616	22616
096	514	2011	713	820	1386	1870	1477	1477	3030	23030
098	439	1232	533	237	1863	2170	1253	1253	1965	21965
107	474	1877	492	770	984	1406	1053	1053	3040	23040
108	473	1922	534	787	1031	1476	1141	1141	3063	23063
110	1136	2285	1050	1372	303	752	1078	1078	3753	23753
113	1259	2613	1264	1558	510	1102	1518	1518	4046	24046
115	900	2397	1015	1227	1051	1611	1590	1590	3609	23609
117	1303	1351	1064	1224	1454	1304	243	243	3002	23002

118	1621	1792	1391	1607	1327	1005	591	591	3583	23583
120	1423	2709	1399	1707	353	935	1537	1537	4225	24225
126	382	1892	550	707	1271	1724	1294	1294	2932	22932
131	1787	2596	1637	1951	593	0	1246	1246	4364	24364
133	273	1266	141	194	1491	1756	865	865	2250	22250
134	385	1125	312	100	1659	1906	933	933	2031	22031
136	749	1949	661	982	694	1063	883	883	3266	23266
137	587	1767	474	797	879	1201	786	786	3021	23021
138	458	1607	309	632	1048	1338	733	733	2801	22801
139	387	1649	292	608	1070	1400	837	837	2805	22805
140	340	1690	308	602	1097	1457	926	926	2816	22816
141	501	1844	474	774	937	1334	970	970	3035	23035
142	534	1805	464	778	905	1269	882	882	3024	23024
143	1141	1855	947	1239	786	757	527	527	3396	23396
144	1261	2047	1087	1392	629	574	714	714	3628	23628
145	1357	2182	1195	1505	532	448	848	848	3795	23795
146	1426	2272	1272	1585	482	366	936	936	3907	23907
147	1068	1859	883	1183	741	784	558	558	3361	23361
148	961	1668	753	1034	918	965	391	391	3127	23127
149	973	1486	743	981	1118	1119	194	194	2956	22956
150	1310	2202	1160	1476	455	478	883	883	3786	23786
151	1255	2213	1118	1438	390	536	918	918	3765	23765
152	562	948	474	248	1797	2005	942	942	1834	21834
153	523	999	476	196	1821	2053	1022	1022	1821	21821
154	449	1076	319	201	1634	1853	840	840	2042	22042
157	1443	1568	1207	1400	1365	1137	381	381	3284	23284
158	1031	1059	797	893	1556	1538	292	292	2536	22536
159	1117	739	912	891	1862	1858	612	612	2227	22227
160	1064	896	842	877	1711	1701	456	456	2371	22371
161	716	822	567	437	1800	1945	802	802	1872	21872
162	726	797	654	400	1972	2160	1046	1046	1609	21609
163	766	745	667	447	1957	2123	983	983	1643	21643
164	911	613	776	609	1993	2105	910	910	1710	21710
166	1039	571	872	761	1990	2047	816	816	1897	21897
168	235	1680	472	492	1517	1925	1300	1300	2598	22598
170	312	1734	346	608	1131	1520	1016	1016	2833	22833
171	657	2043	667	953	828	1294	1124	1124	3273	23273
173	1023	1193	784	927	1430	1403	160	160	2678	22678
174	1536	1749	1306	1525	1275	988	514	514	3500	23500
175	1520	1608	1285	1476	1405	1145	458	458	3361	23361
176	1450	1712	1221	1445	1223	974	440	440	3423	23423
177	1366	1676	1138	1366	1178	970	373	373	3347	23347
179	1285	1656	1059	1294	1128	962	323	323	3286	23286
180	1205	1666	983	1231	1054	935	315	315	3254	23254



181	462	1968	649	777	1332	1806	1404	1404	2997	22997
182	798	912	591	597	1650	1737	553	553	2166	22166
183	721	914	527	502	1664	1783	631	631	2085	22085
185	1513	2309	1351	1661	546	297	963	963	3983	23983
186	1218	2246	1098	1421	323	595	977	977	3771	23771
187	1178	2264	1073	1396	298	666	1023	1023	3762	23762
188	918	2128	846	1165	517	946	1005	1005	3505	23505
189	1133	555	954	864	2016	2042	799	799	2000	22000
190	1143	625	1116	822	2446	2624	1461	1461	1000	21000
191	191	1322	174	165	1516	1811	962	962	2262	22262
193	892	1496	666	917	1083	1130	265	265	2921	22921
194	817	1717	634	941	844	1011	542	542	3098	23098
195	1384	2292	1241	1559	398	404	970	970	3900	23900
196	493	1153	278	370	1469	1657	650	650	2260	22260
197	477	1281	238	450	1330	1529	601	601	2436	22436
202	830	1206	591	751	1362	1416	270	270	2572	22572
203	843	1347	607	819	1224	1278	230	230	2738	22738
205	934	1171	696	837	1418	1430	214	214	2599	22599
207	545	1011	380	313	1636	1818	753	753	2046	22046
208	661	1009	452	480	1571	1702	585	585	2183	22183
211	954	1367	717	923	1234	1236	124	124	2822	22822
219	873	751	692	619	1815	1900	697	697	1982	21982
221	297	1797	506	605	1392	1826	1301	1301	2778	22778
222	174	1670	320	499	1298	1687	1101	1101	2687	22687
224	375	1856	594	666	1449	1899	1395	1395	2825	22825
225	590	2099	765	909	1291	1794	1487	1487	3167	23167
227	668	907	495	424	1699	1844	716	716	2000	22000
228	659	2093	706	971	892	1382	1222	1222	3299	23299
232	1530	1306	1292	1411	1700	1490	505	505	3079	23079
233	1615	2292	1436	1735	719	324	941	941	4023	24023
234	1520	2237	1345	1647	658	360	887	887	3927	23927
239	2465	1801	2431	2054	4136	4364	2873	2873	0	20500
240	22465	21801	22431	22054	24136	24364	22873	22873	20500	0
241	7624	9273	7594	7988	6253	6999	7770	7770	10025	30025
242	40924	42573	40894	41288	39553	40299	41070	41070	43325	63325
243	54824	56473	54794	55188	53453	54199	54970	54970	57225	77225
244	10665	10001	10631	10254	12336	12564	11073	11073	8800	15700
245	10424	12073	10394	10788	9053	9799	10570	10570	12825	32825
246	46824	48473	46794	47188	45453	46199	46970	46970	49225	69225
247	34265	33601	34231	33854	35936	36164	34673	34673	32300	12600
249	9524	11173	9494	9888	8153	8899	9670	9670	11925	31925
250	43924	45573	43894	44288	42553	43299	44070	44070	46325	66325
252	45824	47473	45794	46188	44453	45199	45970	45970	48225	68225
253	6024	7673	5994	6388	4653	5399	6170	6170	8425	28425

255	3465	2801	3431	3054	5136	5364	3873	3873	1500	19600
260	1850	1521	1622	1676	2333	2238	1033	1033	3166	23166
262	43224	44873	43194	43588	41853	42599	43370	43370	45625	65625

Tabla 11: Distancias (en metro) entre los sitios de demanda (bloques con habitantes entre 6 años y 11 años) y los sitios candidatos a instalar una escuela primaria. Primera parte

## Distancias en el nivel educativo primaria 2

Bloque con población de interés	Bloque:# de escuela									
	241:28	242:29	243:30	244:31	245:32	246:33	247:34	249:35	250:36	252:37
001	7122	40422	54322	11205	9922	46322	34805	9022	43422	45322
002	7299	40599	54499	11022	10099	46499	34622	9199	43599	45499
003	8358	41658	55558	10271	11158	47558	33871	10258	44658	46558
008	7950	41250	55150	10344	10750	47150	33944	9850	44250	46150
013	6421	39721	53621	11804	9221	45621	35404	8321	42721	44621
016	7681	40981	54881	12512	10481	46881	36112	9581	43981	45881
017	7737	41037	54937	11993	10537	46937	35593	9637	44037	45937
018	9273	42573	56473	10001	12073	48473	33601	11173	45573	47473
019	7964	41264	55164	11291	10764	47164	34891	9864	44264	46164
021	7857	41157	55057	11406	10657	47057	35006	9757	44157	46057
022	8844	42144	56044	10609	11644	48044	34209	10744	45144	47044
023	8147	41447	55347	11095	10947	47347	34695	10047	44447	46347
024	7683	40983	54883	11262	10483	46883	34862	9583	43983	45883
028	8004	41304	55204	10307	10804	47204	33907	9904	44304	46204
029	8467	41767	55667	9868	11267	47667	33468	10367	44767	46667
030	8549	41849	55749	9984	11349	47749	33584	10449	44849	46749
032	7403	40703	54603	10859	10203	46603	34459	9303	43703	45603
033	7594	40894	54794	10631	10394	46794	34231	9494	43894	45794
034	7604	40904	54804	10630	10404	46804	34230	9504	43904	45804
035	7988	41288	55188	10254	10788	47188	33854	9888	44288	46188
037	6757	40057	53957	11474	9557	45957	35074	8657	43057	44957
038	6757	40057	53957	11469	9557	45957	35069	8657	43057	44957
039	7120	40420	54320	11322	9920	46320	34922	9020	43420	45320
040	7095	40395	54295	11866	9895	46295	35466	8995	43395	45295
041	7245	40545	54445	11636	10045	46445	35236	9145	43545	45445
042	7418	40718	54618	11412	10218	46618	35012	9318	43718	45618
043	7341	40641	54541	11366	10141	46541	34966	9241	43641	45541
044	9121	42421	56321	9581	11921	48321	33181	11021	45421	47321
046	6821	40121	54021	11472	9621	46021	35072	8721	43121	45021

047	6820	40120	54020	11765	9620	46020	35365	8720	43120	45020
048	6253	39553	53453	12336	9053	45453	35936	8153	42553	44453
049	6317	39617	53517	11942	9117	45517	35542	8217	42617	44517
052	7203	40503	54403	11292	10003	46403	34892	9103	43503	45403
053	6998	40298	54198	11532	9798	46198	35132	8898	43298	45198
054	6926	40226	54126	11503	9726	46126	35103	8826	43226	45126
056	7425	40725	54625	11042	10225	46625	34642	9325	43725	45625
058	7341	40641	54541	11045	10141	46541	34645	9241	43641	45541
059	6870	40170	54070	11482	9670	46070	35082	8770	43170	45070
060	7069	40369	54269	11220	9869	46269	34820	8969	43369	45269
061	7273	40573	54473	11008	10073	46473	34608	9173	43573	45473
064	6908	40208	54108	11793	9708	46108	35393	8808	43208	45108
065	6731	40031	53931	11742	9531	45931	35342	8631	43031	44931
066	6658	39958	53858	11727	9458	45858	35327	8558	42958	44858
067	6599	39899	53799	11713	9399	45799	35313	8499	42899	44799
068	6803	40103	54003	12253	9603	46003	35853	8703	43103	45003
069	7450	40750	54650	10829	10250	46650	34429	9350	43750	45650
070	7474	40774	54674	10843	10274	46674	34443	9374	43774	45674
071	7663	40963	54863	10651	10463	46863	34251	9563	43963	45863
072	7835	41135	55035	10478	10635	47035	34078	9735	44135	46035
073	7862	41162	55062	10514	10662	47062	34114	9762	44162	46062
075	7757	41057	54957	10715	10557	46957	34315	9657	44057	45957
077	7957	41257	55157	10610	10757	47157	34210	9857	44257	46157
078	8006	41306	55206	10667	10806	47206	34267	9906	44306	46206
079	8347	41647	55547	10257	11147	47547	33857	10247	44647	46547
080	8146	41446	55346	10432	10946	47346	34032	10046	44446	46346
081	8386	41686	55586	10336	11186	47586	33936	10286	44686	46586
082	8194	41494	55394	10496	10994	47394	34096	10094	44494	46394
083	7416	40716	54616	10818	10216	46616	34418	9316	43716	45616
084	7404	40704	54604	10821	10204	46604	34421	9304	43704	45604
085	7401	40701	54601	10834	10201	46601	34434	9301	43701	45601
086	7591	40891	54791	10646	10391	46791	34246	9491	43891	45791
087	7785	41085	54985	10447	10585	46985	34047	9685	44085	45985
092	7901	41201	55101	10429	10701	47101	34029	9801	44201	46101
093	8047	41347	55247	10882	10847	47247	34482	9947	44347	46247
094	8384	41684	55584	10816	11184	47584	34416	10284	44684	46584
096	7399	40699	54599	11230	10199	46599	34830	9299	43699	45599
098	8187	41487	55387	10165	10987	47387	33765	10087	44487	46387
107	7017	40317	54217	11240	9817	46217	34840	8917	43317	45217
108	7036	40336	54236	11263	9836	46236	34863	8936	43336	45236
110	6389	39689	53589	11953	9189	45589	35553	8289	42689	44589
113	6082	39382	53282	12246	8882	45282	35846	7982	42382	44282
115	6857	40157	54057	11809	9657	46057	35409	8757	43157	45057
117	8005	41305	55205	11202	10805	47205	34802	9905	44305	46205

118	7914	41214	55114	11783	10714	47114	35383	9814	44214	46114
120	5800	39100	53000	12425	8600	45000	36025	7700	42100	44000
126	7304	40604	54504	11132	10104	46504	34732	9204	43604	45504
131	6999	40299	54199	12564	9799	46199	36164	8899	43299	45199
133	7775	41075	54975	10450	10575	46975	34050	9675	44075	45975
134	7994	41294	55194	10231	10794	47194	33831	9894	44294	46194
136	6778	40078	53978	11466	9578	45978	35066	8678	43078	44978
137	7018	40318	54218	11221	9818	46218	34821	8918	43318	45218
138	7235	40535	54435	11001	10035	46435	34601	9135	43535	45435
139	7220	40520	54420	11005	10020	46420	34605	9120	43520	45420
140	7217	40517	54417	11016	10017	46417	34616	9117	43517	45417
141	6997	40297	54197	11235	9797	46197	34835	8897	43297	45197
142	7001	40301	54201	11224	9801	46201	34824	8901	43301	45201
143	7159	40459	54359	11596	9959	46359	35196	9059	43459	45359
144	6998	40298	54198	11828	9798	46198	35428	8898	43298	45198
145	6902	40202	54102	11995	9702	46102	35595	8802	43202	45102
146	6855	40155	54055	12107	9655	46055	35707	8755	43155	45055
147	7077	40377	54277	11561	9877	46277	35161	8977	43377	45277
148	7269	40569	54469	11327	10069	46469	34927	9169	43569	45469
149	7525	40825	54725	11156	10325	46725	34756	9425	43825	45725
150	6791	40091	53991	11986	9591	45991	35586	8691	43091	44991
151	6684	39984	53884	11965	9484	45884	35565	8584	42984	44884
152	8196	41496	55396	10034	10996	47396	33634	10096	44496	46396
153	8205	41505	55405	10021	11005	47405	33621	10105	44505	46405
154	7989	41289	55189	10242	10789	47189	33842	9889	44289	46189
157	7929	41229	55129	11484	10729	47129	35084	9829	44229	46129
158	8061	41361	55261	10736	10861	47261	34336	9961	44361	46261
159	8428	41728	55628	10427	11228	47628	34027	10328	44728	46628
160	8247	41547	55447	10571	11047	47447	34171	10147	44547	46447
161	8250	41550	55450	10072	11050	47450	33672	10150	44550	46450
162	8426	41726	55626	9809	11226	47626	33409	10326	44726	46626
163	8427	41727	55627	9843	11227	47627	33443	10327	44727	46627
164	8511	41811	55711	9910	11311	47711	33510	10411	44811	46711
166	8546	41846	55746	10097	11346	47746	33697	10446	44846	46746
168	7658	40958	54858	10798	10458	46858	34398	9558	43958	45858
170	7225	40525	54425	11033	10025	46425	34633	9125	43525	45425
171	6784	40084	53984	11473	9584	45984	35073	8684	43084	44984
173	7912	41212	55112	10878	10712	47112	34478	9812	44212	46112
174	7838	41138	55038	11700	10638	47038	35300	9738	44138	46038
175	7990	41290	55190	11561	10790	47190	35161	9890	44290	46190
176	7761	41061	54961	11623	10561	46961	35223	9661	44061	45961
177	7691	40991	54891	11547	10491	46891	35147	9591	43991	45891
179	7615	40915	54815	11486	10415	46815	35086	9515	43915	45815
180	7508	40808	54708	11454	10308	46708	35054	9408	43808	45708

181	7348	40648	54548	11197	10148	46548	34797	9248	43648	45548
182	8109	41409	55309	10366	10909	47309	33966	10009	44409	46309
183	8103	41403	55303	10285	10903	47303	33885	10003	44403	46303
185	6947	40247	54147	12183	9747	46147	35783	8847	43247	45147
186	6565	39865	53765	11971	9365	45765	35571	8465	42865	44765
187	6475	39775	53675	11962	9275	45675	35562	8375	42775	44675
188	6545	39845	53745	11705	9345	45745	35305	8445	42845	44745
189	8601	41901	55801	10200	11401	47801	33800	10501	44901	46801
190	9025	42325	56225	9200	11825	48225	32800	10925	45325	47225
191	7777	41077	54977	10462	10577	46977	34062	9677	44077	45977
193	7457	40757	54657	11121	10257	46657	34721	9357	43757	45657
194	7111	40411	54311	11298	9911	46311	34898	9011	43411	45311
195	6742	40042	53942	12100	9542	45942	35700	8642	43042	44942
196	7815	41115	55015	10460	10615	47015	34060	9715	44115	46015
197	7641	40941	54841	10636	10441	46841	34236	9541	43941	45841
202	7782	41082	54982	10772	10582	46982	34372	9682	44082	45982
203	7618	40918	54818	10938	10418	46818	34538	9518	43918	45818
205	7876	41176	55076	10799	10676	47076	34399	9776	44176	46076
207	8020	41320	55220	10246	10820	47220	33846	9920	44320	46220
208	7981	41281	55181	10383	10781	47181	33983	9881	44281	46181
211	7661	40961	54861	11022	10461	46861	34622	9561	43961	45861
219	8311	41611	55511	10182	11111	47511	33782	10211	44611	46511
221	7477	40777	54677	10978	10277	46677	34578	9377	43777	45677
222	7419	40719	54619	10887	10219	46619	34487	9319	43719	45619
224	7523	40823	54723	11025	10323	46723	34625	9423	43823	45723
225	7256	40556	54456	11367	10056	46456	34967	9156	43556	45456
227	8127	41427	55327	10200	10927	47327	33800	10027	44427	46327
228	6813	40113	54013	11499	9613	46013	35099	8713	43113	45013
232	8336	41636	55536	11279	11136	47536	34879	10236	44636	46536
233	7172	40472	54372	12223	9972	46372	35823	9072	43472	45372
234	7087	40387	54287	12127	9887	46287	35727	8987	43387	45287
239	10025	43325	57225	8800	12825	49225	32300	11925	46325	48225
240	30025	63325	77225	15700	32825	69225	12600	31925	66325	68225
241	0	33400	47700	18225	2700	39300	41825	1800	36400	38300
242	33400	0	15900	51525	32900	7400	75125	32000	4600	6500
243	47700	15900	0	65425	47300	8500	89025	46300	14100	9500
244	18225	51525	65425	0	21025	57425	28100	20125	54525	56425
245	2700	32900	47300	21025	0	38800	44625	1400	36000	37900
246	39300	7400	8500	57425	38800	0	81025	37900	5700	1100
247	41825	75125	89025	28100	44625	81025	0	43725	78125	80025
249	1800	32000	46300	20125	1400	37900	43725	0	35000	36900
250	36400	4600	14100	54525	36000	5700	78125	35000	0	4700
252	38300	6500	9500	56425	37900	1100	80025	36900	4700	0
253	1900	35300	49600	16625	4500	41200	40225	3700	38300	40200

255	11025	44325	58225	8400	13825	50225	32000	12925	47325	49225
260	11575	44875	58775	11366	14375	50775	34966	13475	47875	49775
262	35700	3800	14800	53825	15100	6400	77425	34300	1900	5400

Tabla 12: Distancias (en metro) entre los sitios de demanda (bloques con habitantes entre 6 años y 11 años) y los sitios candidatos a instalar una escuela primaria. Segunda parte

### Distancias en el nivel educativo secundaria

Bloque con población de interés	Bloque:# de escuela												
	017:38	035:39	085:40	165:41	240:42	241:43	242:44	243:45	244:53	245:46	247:54	250:55	252:47
001	1013	841	490	916	23005	7122	40422	54322	11205	9922	34805	43422	45322
002	1055	719	428	771	22822	7299	40599	54499	11022	10099	34622	43599	45499
003	2198	498	817	938	22071	8358	41658	55558	10271	11158	33871	44658	46558
008	1787	133	438	655	22144	7950	41250	55150	10344	10750	33944	44250	46150
013	1348	1223	766	1463	23604	6421	39721	53621	11804	9221	35404	42721	44621
016	427	2048	1764	1869	24312	7681	40981	54881	12512	10481	36112	43981	45881
017	0	1704	1483	1469	23793	7737	41037	54937	11993	10537	35593	44037	45937
018	1994	1191	1567	783	21801	9273	42573	56473	10001	12073	33601	45573	47473
019	571	1273	1186	939	23091	7964	41264	55164	11291	10764	34891	44264	46164
022	1396	1235	1444	712	22409	8844	42144	56044	10609	11644	34209	45144	47044
023	759	1207	1193	812	22895	8147	41447	55347	11095	10947	34695	44447	46347
024	580	1139	990	894	23062	7683	40983	54883	11262	10483	34862	43983	45883
028	1383	400	590	218	22107	8004	41304	55204	10307	10804	33907	44304	46204
029	1662	528	896	195	21668	8467	41767	55667	9868	11267	33468	44767	46667
030	1580	694	1014	218	21784	8549	41849	55749	9984	11349	33584	44849	46749
032	1564	472	89	862	22659	7403	40703	54603	10859	10203	34459	43703	45603
033	1457	323	179	623	22431	7594	40894	54794	10631	10394	34231	43894	45794
034	1366	368	251	562	22430	7604	40904	54804	10630	10404	34230	43904	45804
035	1704	0	458	523	22054	7988	41288	55188	10254	10788	33854	44288	46188
037	1371	961	503	1232	23274	6757	40057	53957	11474	9557	35074	43057	44957
038	1278	968	515	1200	23269	6757	40057	53957	11469	9557	35069	43057	44957
039	1763	846	476	1270	23122	7120	40420	54320	11322	9920	34922	43420	45320
040	517	1445	1119	1372	23666	7095	40395	54295	11866	9895	35466	43395	45295
041	500	1298	1011	1189	23436	7245	40545	54445	11636	10045	35236	43545	45445
042	552	1165	932	1011	23212	7418	40718	54618	11412	10218	35012	43718	45618
043	637	1097	845	980	23166	7341	40641	54541	11366	10141	34966	43641	45541
044	2069	965	1386	680	21381	9121	42421	56321	9581	11921	33181	45421	47321
046	1063	1010	593	1144	23272	6821	40121	54021	11472	9621	35072	43121	45021
047	786	1295	916	1321	23565	6820	40120	54020	11765	9620	35365	43120	45020
048	1174	1675	1235	1804	24136	6253	39553	53453	12336	9053	35936	42553	44453
049	1232	1346	895	1534	23742	6317	39617	53517	11942	9117	35542	42617	44517
052	812	974	677	943	23092	7203	40503	54403	11292	10003	34892	43503	45403
053	776	1133	785	1136	23332	6998	40298	54198	11532	9798	35132	43298	45198
054	877	1082	709	1129	23303	6926	40226	54126	11503	9726	35103	43226	45126
056	899	819	603	743	22842	7425	40725	54625	11042	10225	34642	43725	45625
058	971	774	516	765	22845	7341	40641	54541	11045	10141	34645	43641	45541
059	970	1041	646	1132	23282	6870	40170	54070	11482	9670	35082	43170	45070
060	1074	830	450	946	23020	7069	40369	54269	11220	9869	34820	43369	45269
064	695	1340	980	1331	23593	6908	40208	54108	11793	9708	35393	43208	45108
065	885	1253	855	1318	23542	6731	40031	53931	11742	9531	35342	43031	44931
066	976	1221	806	1323	23527	6658	39958	53858	11727	9458	35327	42958	44858
067	1070	1191	760	1330	23513	6599	39899	53799	11713	9399	35313	42899	44799
068	762	1689	1303	1689	24053	6803	40103	54003	12253	9603	35853	43103	45003
070	1117	607	406	630	22643	7474	40774	54674	10843	10274	34443	43774	45674
071	1200	504	436	479	22451	7663	40963	54863	10651	10463	34251	43963	45863

072	1286	436	503	344	22278	7835	41135	55035	10478	10635	34078	44135	46035
073	1218	521	577	335	22314	7862	41162	55062	10514	10662	34114	44162	46062
075	1050	673	632	473	22515	7757	41057	54957	10715	10557	34315	44057	45957
077	1087	713	759	384	22410	7957	41257	55157	10610	10757	34210	44257	46157
078	1034	800	843	437	22467	8006	41306	55206	10667	10806	34267	44306	46206
079	1360	711	935	196	22057	8347	41647	55547	10257	11147	33857	44647	46547
080	1218	691	832	259	22232	8146	41446	55346	10432	10946	34032	44446	46346
081	1316	799	1003	286	22136	8386	41686	55586	10336	11186	33936	44686	46586
082	1172	783	912	332	22296	8194	41494	55394	10496	10994	34096	44494	46394
083	1300	497	200	693	22618	7416	40716	54616	10818	10216	34418	43716	45616
084	1394	467	97	744	22621	7404	40704	54604	10821	10204	34421	43704	45604
085	1483	458	0	801	22634	7401	40701	54601	10834	10201	34434	43701	45601
086	1544	310	148	691	22446	7591	40891	54791	10646	10391	34246	43891	45791
087	1444	260	355	447	22247	7785	41085	54985	10447	10585	34047	44085	45985
093	876	1001	1005	623	22682	8047	41347	55247	10882	10847	34482	44347	46247
094	1026	1126	1214	657	22616	8384	41684	55584	10816	11184	34416	44684	46584
107	1481	770	319	1101	23040	7017	40317	54217	11240	9817	34840	43317	45217
108	1572	787	355	1153	23063	7036	40336	54236	11263	9836	34863	43336	45236
110	1117	1372	932	1518	23753	6389	39689	53589	11953	9189	35553	42689	44589
113	1594	1558	1102	1830	24046	6082	39382	53282	12246	8882	35846	42382	44282
115	1907	1227	836	1637	23609	6857	40157	54057	11809	9657	35409	43157	45057
117	643	1224	1160	874	23002	8005	41305	55205	11202	10805	34802	44305	46205
120	1511	1707	1249	1931	24225	5800	39100	53000	12425	8600	36025	42100	44000
126	1788	707	393	1158	22932	7304	40604	54504	11132	10104	34732	43604	45504
131	796	1951	1572	1921	24364	6999	40299	54199	12564	9799	36164	43299	45199
133	1527	194	308	520	22250	7775	41075	54975	10450	10575	34050	44075	45975
134	1626	100	473	428	22031	7994	41294	55194	10231	10794	33831	44294	46194
136	1176	982	542	1169	23266	6778	40078	53978	11466	9578	35066	43078	44978
137	1198	797	373	985	23021	7018	40318	54218	11221	9818	34821	43318	45218
138	1244	632	247	823	22801	7235	40535	54435	11001	10035	34601	43535	45435
139	1343	608	172	868	22805	7220	40520	54420	11005	10020	34605	43520	45420
140	1430	602	144	915	22816	7217	40517	54417	11016	10017	34616	43517	45417
141	1391	774	316	1063	23035	6997	40297	54197	11235	9797	34835	43297	45197
142	1300	778	329	1022	23024	7001	40301	54201	11224	9801	34824	43301	45201
143	591	1239	934	1164	23396	7159	40459	54359	11596	9959	35196	43459	45359
144	606	1392	1048	1350	23628	6998	40298	54198	11828	9798	35428	43298	45198
145	653	1505	1142	1483	23795	6902	40202	54102	11995	9702	35595	43202	45102
146	692	1585	1211	1572	23907	6855	40155	54055	12107	9655	35707	43155	45055
147	683	1183	858	1146	23361	7077	40377	54277	11561	9877	35161	43377	45277
148	722	1034	762	958	23127	7269	40569	54469	11327	10069	34927	43569	45469
149	723	981	798	812	22956	7525	40825	54725	11156	10325	34756	43825	45725
150	741	1476	1095	1485	23786	6791	40091	53991	11986	9591	35586	43091	44991
151	833	1438	1040	1481	23765	6684	39984	53884	11965	9484	35565	42984	44884
152	1658	248	644	302	21834	8196	41496	55396	10034	10996	33634	44496	46396
153	1733	196	634	394	21821	8205	41505	55405	10021	11005	33621	44505	46405
154	1542	201	495	343	22042	7989	41289	55189	10242	10789	33842	44289	46189
157	426	1400	1278	1087	23284	7929	41229	55129	11484	10729	35084	44229	46129
158	984	893	931	504	22536	8061	41361	55261	10736	10861	34336	44361	46261
159	1272	891	1076	381	22227	8428	41728	55628	10427	11228	34027	44728	46628
160	1129	877	995	416	22371	8247	41547	55447	10571	11047	34171	44547	46447
161	1525	437	747	91	21872	8250	41550	55450	10072	11050	33672	44550	46450
162	1769	400	823	320	21609	8426	41726	55626	9809	11226	33409	44726	46626
163	1706	447	842	243	21643	8427	41727	55627	9843	11227	33443	44727	46627
164	1625	609	955	189	21710	8511	41811	55711	9910	11311	33510	44811	46711
166	1509	761	1049	251	21897	8546	41846	55746	10097	11346	33697	44846	46746
168	1882	492	399	998	22598	7658	40958	54858	10798	10458	34398	43958	45858
170	1518	608	167	966	22833	7225	40525	54425	11033	10025	34633	43525	45425
171	1465	953	499	1262	23273	6784	40084	53984	11473	9584	35073	43084	44984
173	869	927	898	601	22678	7912	41212	55112	10878	10712	34478	44212	46112
174	246	1525	1357	1247	23500	7838	41138	55038	11700	10638	35300	44138	46038

176	290	1445	1270	1182	23423	7761	41061	54961	11623	10561	35223	44061	45961
177	350	1366	1185	1119	23347	7691	40991	54891	11547	10491	35147	43991	45891
179	412	1294	1103	1069	23286	7615	40915	54815	11486	10415	35086	43915	45815
180	475	1231	1018	1042	23254	7508	40808	54708	11454	10308	35054	43808	45708
182	1276	597	757	194	22166	8109	41409	55309	10366	10909	33966	44409	46309
183	1354	502	700	141	22085	8103	41403	55303	10285	10903	33885	44403	46303
185	638	1661	1298	1625	23983	6947	40247	54147	12183	9747	35783	43247	45147
186	934	1421	1006	1500	23771	6565	39865	53765	11971	9365	35571	42865	44765
187	1020	1396	969	1507	23762	6475	39775	53675	11962	9275	35562	42775	44675
188	1187	1165	718	1351	23505	6545	39845	53745	11705	9345	35305	42845	44745
189	1469	864	1129	345	22000	8601	41901	55801	10200	11401	33800	44901	46801
190	2178	822	1275	716	21000	9025	42325	56225	9200	11825	32800	45325	47225
191	1614	165	293	599	22262	7777	41077	54977	10462	10577	34062	44077	45977
193	792	917	713	791	22921	7457	40757	54657	11121	10257	34721	43757	45657
194	898	941	607	966	23098	7111	40411	54311	11298	9911	34898	43411	45311
196	1341	370	446	370	22260	7815	41115	55015	10460	10615	34060	44115	46015
197	1257	450	371	498	22436	7641	40941	54841	10636	10441	34236	43941	45841
202	983	751	707	512	22572	7782	41082	54982	10772	10582	34372	44082	45982
203	887	819	689	645	22738	7618	40918	54818	10938	10418	34538	43918	45818
207	1465	313	559	246	22046	8020	41320	55220	10246	10820	33846	44320	46220
211	791	923	797	705	22822	7661	40961	54861	11022	10461	34622	43961	45861
219	1412	619	868	100	21982	8311	41611	55511	10182	11111	33782	44611	46511
222	1651	499	182	928	22687	7419	40719	54619	10887	10219	34487	43719	45619
224	1930	666	475	1161	22825	7523	40823	54723	11025	10323	34625	43823	45723
232	746	1411	1403	990	23079	8336	41636	55536	11279	11136	34879	44636	46536
234	521	1647	1306	1574	23927	7087	40387	54287	12127	9887	35727	43387	45287
239	3793	2054	2634	1918	20500	10025	43325	57225	8800	12825	32300	46325	48225
240	23793	22054	22634	21918	0	30025	63325	77225	15700	32825	12600	66325	68225
241	7737	7988	7401	8276	30025	0	33400	47700	18225	2700	41825	36400	38300
242	41037	41288	40701	41576	63325	33400	0	15900	51525	32900	75125	4600	6500
243	54937	55188	54601	55476	77225	47700	15900	0	65425	47300	89025	14100	9500
244	11993	10254	10834	10118	15700	18225	51525	65425	0	21025	28100	54525	56425
245	10537	10788	10201	11076	32825	2700	32900	47300	21025	0	44625	36000	37900
246	46937	47188	46601	47476	69225	39300	7400	8500	57425	38800	81025	5700	1100
247	35593	33854	34434	33718	12600	41825	75125	89025	28100	44625	0	78125	80025
249	9637	9888	9301	10176	31925	1800	32000	46300	20125	1400	43725	35000	36900
250	44037	44288	43701	44576	66325	36400	4600	14100	54525	36000	78125	0	4700
252	45937	46188	45601	46476	68225	38300	6500	9500	56425	37900	80025	4700	0
253	6137	6388	5801	6676	28425	1900	35300	49600	16625	4500	40225	38300	40200
255	4793	3054	3634	2918	19600	11025	44325	58225	8400	13825	32000	47325	49225
260	1576	1676	1764	1207	23166	11575	44875	58775	11366	14375	34966	47875	49775
262	43337	43588	43001	43876	65625	35700	3800	14800	53825	15100	77425	1900	5400

Tabla 13: Distancias (en metro) entre los sitios de demanda (bloques con habitantes entre 12 años y 14 años) y los sitios candidatos a instalar una escuela secundaria.

### Distancias en el nivel educativo medio superior

Bloque con población de interés	Bloque:# de escuela								
	190:56	240:57	241:58	242:48	243:59	244:60	247:61	258:49	261:62
001	1564	23005	7122	40422	54322	11205	34805	1922	43522
002	1421	22822	7299	40599	54499	11022	34622	2099	43699



003	836	22071	8358	41658	55558	10271	33871	3158	44758
008	892	22144	7950	41250	55150	10344	33944	2750	44350
013	2031	23604	6421	39721	53621	11804	35404	1221	42821
017	2178	23793	7737	41037	54937	11993	35593	2537	44137
018	625	21801	9273	42573	56473	10001	33601	4073	45673
019	1631	23091	7964	41264	55164	11291	34891	2764	44364
022	1099	22409	8844	42144	56044	10609	34209	3644	45244
023	1478	22895	8147	41447	55347	11095	34695	2947	44547
024	1608	23062	7683	40983	54883	11262	34862	2483	44083
029	521	21668	8467	41767	55667	9868	33468	3267	44867
030	612	21784	8549	41849	55749	9984	33584	3349	44949
033	1116	22431	7594	40894	54794	10631	34231	2394	43994
034	1115	22430	7604	40904	54804	10630	34230	2404	44004
035	822	22054	7988	41288	55188	10254	33854	2788	44388
037	1774	23274	6757	40057	53957	11474	35074	1557	43157
038	1770	23269	6757	40057	53957	11469	35069	1557	43157
039	1655	23122	7120	40420	54320	11322	34922	1920	43520
040	2079	23666	7095	40395	54295	11866	35466	1895	43495
041	1900	23436	7245	40545	54445	11636	35236	2045	43645
042	1725	23212	7418	40718	54618	11412	35012	2218	43818
043	1689	23166	7341	40641	54541	11366	34966	2141	43741
044	297	21381	9121	42421	56321	9581	33181	3921	45521
046	1772	23272	6821	40121	54021	11472	35072	1621	43221
047	2001	23565	6820	40120	54020	11765	35365	1620	43220
048	2446	24136	6253	39553	53453	12336	35936	1053	42653
049	2139	23742	6317	39617	53517	11942	35542	1117	42717
052	1632	23092	7203	40503	54403	11292	34892	2003	43603
053	1819	23332	6998	40298	54198	11532	35132	1798	43398
054	1797	23303	6926	40226	54126	11503	35103	1726	43326
056	1437	22842	7425	40725	54625	11042	34642	2225	43825
058	1439	22845	7341	40641	54541	11045	34645	2141	43741
059	1780	23282	6870	40170	54070	11482	35082	1670	43270
060	1576	23020	7069	40369	54269	11220	34820	1869	43469
064	2022	23593	6908	40208	54108	11793	35393	1708	43308
065	1983	23542	6731	40031	53931	11742	35342	1531	43131
066	1971	23527	6658	39958	53858	11727	35327	1458	43058
067	1960	23513	6599	39899	53799	11713	35313	1399	42999
068	2382	24053	6803	40103	54003	12253	35853	1603	43203
070	1282	22643	7474	40774	54674	10843	34443	2274	43874
071	1132	22451	7663	40963	54863	10651	34251	2463	44063
072	997	22278	7835	41135	55035	10478	34078	2635	44235
073	1025	22314	7862	41162	55062	10514	34114	2662	44262
075	1181	22515	7757	41057	54957	10715	34315	2557	44157
077	1100	22410	7957	41257	55157	10610	34210	2757	44357

078	1145	22467	8006	41306	55206	10667	34267	2806	44406
079	825	22057	8347	41647	55547	10257	33857	3147	44747
080	961	22232	8146	41446	55346	10432	34032	2946	44546
081	886	22136	8386	41686	55586	10336	33936	3186	44786
082	1011	22296	8194	41494	55394	10496	34096	2994	44594
083	1262	22618	7416	40716	54616	10818	34418	2216	43816
084	1264	22621	7404	40704	54604	10821	34421	2204	43804
085	1275	22634	7401	40701	54601	10834	34434	2201	43801
086	1128	22446	7591	40891	54791	10646	34246	2391	43991
087	973	22247	7785	41085	54985	10447	34047	2585	44185
093	1312	22682	8047	41347	55247	10882	34482	2847	44447
094	1261	22616	8384	41684	55584	10816	34416	3184	44784
107	1591	23040	7017	40317	54217	11240	34840	1817	43417
110	2147	23753	6389	39689	53589	11953	35553	1189	42789
113	2376	24046	6082	39382	53282	12246	35846	882	42482
115	2035	23609	6857	40157	54057	11809	35409	1657	43257
117	1561	23002	8005	41305	55205	11202	34802	2805	44405
120	2515	24225	5800	39100	53000	12425	36025	600	42200
126	1507	22932	7304	40604	54504	11132	34732	2104	43704
131	2624	24364	6999	40299	54199	12564	36164	1799	43399
133	975	22250	7775	41075	54975	10450	34050	2575	44175
134	804	22031	7994	41294	55194	10231	33831	2794	44394
136	1767	23266	6778	40078	53978	11466	35066	1578	43178
137	1577	23021	7018	40318	54218	11221	34821	1818	43418
138	1405	22801	7235	40535	54435	11001	34601	2035	43635
139	1408	22805	7220	40520	54420	11005	34605	2020	43620
140	1417	22816	7217	40517	54417	11016	34616	2017	43617
141	1587	23035	6997	40297	54197	11235	34835	1797	43397
142	1579	23024	7001	40301	54201	11224	34824	1801	43401
143	1869	23396	7159	40459	54359	11596	35196	1959	43559
144	2050	23628	6998	40298	54198	11828	35428	1798	43398
145	2180	23795	6902	40202	54102	11995	35595	1702	43302
146	2267	23907	6855	40155	54055	12107	35707	1655	43255
147	1842	23361	7077	40377	54277	11561	35161	1877	43477
148	1659	23127	7269	40569	54469	11327	34927	2069	43669
149	1525	22956	7525	40825	54725	11156	34756	2325	43925
150	2173	23786	6791	40091	53991	11986	35586	1591	43191
151	2157	23765	6684	39984	53884	11965	35565	1484	43084
152	650	21834	8196	41496	55396	10034	33634	2996	44596
153	641	21821	8205	41505	55405	10021	33621	3005	44605
154	813	22042	7989	41289	55189	10242	33842	2789	44389
157	1782	23284	7929	41229	55129	11484	35084	2729	44329
158	1198	22536	8061	41361	55261	10736	34336	2861	44461
159	957	22227	8428	41728	55628	10427	34027	3228	44828

160	1070	22371	8247	41547	55447	10571	34171	3047	44647
161	680	21872	8250	41550	55450	10072	33672	3050	44650
163	501	21643	8427	41727	55627	9843	33443	3227	44827
164	554	21710	8511	41811	55711	9910	33510	3311	44911
166	700	21897	8546	41846	55746	10097	33697	3346	44946
168	1247	22598	7658	40958	54858	10798	34398	2458	44058
170	1430	22833	7225	40525	54425	11033	34633	2025	43625
171	1773	23273	6784	40084	53984	11473	35073	1584	43184
173	1309	22678	7912	41212	55112	10878	34478	2712	44312
174	1950	23500	7838	41138	55038	11700	35300	2638	44238
176	1890	23423	7761	41061	54961	11623	35223	2561	44161
177	1831	23347	7691	40991	54891	11547	35147	2491	44091
180	1758	23254	7508	40808	54708	11454	35054	2308	43908
182	910	22166	8109	41409	55309	10366	33966	2909	44509
183	846	22085	8103	41403	55303	10285	33885	2903	44503
185	2327	23983	6947	40247	54147	12183	35783	1747	43347
186	2162	23771	6565	39865	53765	11971	35571	1365	42965
187	2154	23762	6475	39775	53675	11962	35562	1275	42875
188	1954	23505	6545	39845	53745	11705	35305	1345	42945
189	780	22000	8601	41901	55801	10200	33800	3401	45001
190	0	21000	9025	42325	56225	9200	32800	3825	45425
191	985	22262	7777	41077	54977	10462	34062	2577	44177
193	1499	22921	7457	40757	54657	11121	34721	2257	43857
194	1636	23098	7111	40411	54311	11298	34898	1911	43511
196	982	22260	7815	41115	55015	10460	34060	2615	44215
197	1120	22436	7641	40941	54841	10636	34236	2441	44041
202	1226	22572	7782	41082	54982	10772	34372	2582	44182
203	1356	22738	7618	40918	54818	10938	34538	2418	44018
207	816	22046	8020	41320	55220	10246	33846	2820	44420
211	1421	22822	7661	40961	54861	11022	34622	2461	44061
219	766	21982	8311	41611	55511	10182	33782	3111	44711
222	1316	22687	7419	40719	54619	10887	34487	2219	43819
224	1423	22825	7523	40823	54723	11025	34625	2323	43923
234	2283	23927	7087	40387	54287	12127	35727	1887	43487
239	1000	20500	10025	43325	57225	8800	32300	4825	46425
240	21000	0	30025	63325	77225	15700	12600	24825	66425
241	9025	30025	0	33400	47700	18225	41825	5310	36400
242	42325	63325	33400	0	15900	51525	75125	38700	4600
243	56225	77225	47700	15900	0	65425	89025	53000	11300
244	9200	15700	18225	51525	65425	0	28100	13025	54625
245	11825	32825	2700	32900	47300	21025	44625	8000	36000
246	48225	69225	39300	7400	8500	57425	81025	44600	2900
247	32800	12600	41825	75125	89025	28100	0	36625	78225
249	10925	31925	1800	32000	46300	20125	43725	7100	35000

250	45325	66325	36400	4600	14100	54525	78125	41700	2800
252	47225	68225	38300	6500	9500	56425	80025	43600	1900
253	7425	28425	1900	35300	49600	16625	40225	3600	38300

Tabla 14: Distancias (en metro) entre los sitios de demanda (bloques con habitantes entre 15 años y 17 años) y los sitios candidatos a instalar una escuela medio superior.

## 4.5. Modelo de cobertura

El modelo de cobertura propuesto con programación lineal multiobjetivo fue resuelto con el método lexicográfico a través de Lingo 17.0.60. La brecha de optimalidad utilizada fue de 0.000008 (que es el valor predeterminado del software). En el anexo D se encuentran el modelo de cobertura propuesto para el nivel educativo secundaria escrito en Lingo. Los resultados determinan a las escuelas candidatas nuevas. Es importante mencionar que en el nivel educativo primaria del caso estudiado no fue necesario efectuar esta etapa pues todo bloque con población de interés tiene, al menos, una escuela primaria a una distancia no mayor a la distancia crítica. (*LINDO Systems Inc., 2018*)

El modelo de cobertura propuesto permite que cada bloque con población de interés tenga una escuela a una distancia menor, o igual, a la distancia crítica. Por otro lado, el modelo de localización propuesto (como se verá en el siguiente subcapítulo) prioriza la distancia que los estudiantes recorren para llegar a su escuela, sin embargo, no está obligado a asignar a todos los estudiantes a escuelas tal que la distancia que tengan que recorrer para llegar a su escuela sea menor, o igual, a la distancia crítica.

La distancia crítica se calculó considerando dos parámetros, la rapidez promedio al caminar y el tiempo máximo de recorrido. La rapidez promedio al caminar es la rapidez estándar que cualquier estudiante emplea para llegar desde su casa hasta la escuela, se consideró igual para cualquier estudiante y el valor empleado es de  $1.33 \frac{m}{s}$  (*Transport for London, 2010*). El tiempo máximo de recorrido es

el límite temporal, dentro de lo apropiado, que un estudiante debe emplear para llegar de su casa a la escuela; este parámetro fue propuesto de acuerdo con el nivel educativo al que pertenece cada estudiante. En la tabla 15 se puede ver los valores de rapidez promedio al caminar, tiempo máximo de recorrido, y distancia crítica.

### Distancias críticas

Parámetro	Nivel Educativo			
	Preescolar	Primaria	Secundaria	Medio Superior
<i>Tiempo máximo de recorrido</i> [minuto]	30	35	40	45
<i>Distancia crítica</i> [metro]	2394	2793	3192	3591

Tabla 15: Valores de la distancia crítica de acuerdo al nivel educativo empleados en la metodología propuesta.

En la tabla 16 se muestran los valores obtenidos para las dos funciones objetivos del modelo de cobertura. Por ejemplo, para el nivel educativo medio superior se resolvió el modelo optimizando a  $f_1$ , el valor hallado fue 7; esto significa que deben proponerse 7 escuelas candidatas nuevas de nivel educativo medio superior (el mínimo número de escuelas candidatas nuevas necesario para que todo bloque con población de interés que no era cubierto por una escuela existente tenga una escuela candidata nueva a una distancia menor, o igual, que la distancia crítica). Después se resuelve el mismo modelo pero optimizando  $f_2$  y considerando la restricción  $f_1(x) = 7$ , el valor hallado fue 253 336, esto significa que la transmisión al proponer las escuelas candidatas nuevas descritas en la segunda solución es de 253 336 (la transmisión mínima). En la tabla 17 se muestran la localización y el nivel educativo de cada escuela candidata nueva.

**Prescripción del modelo de cobertura a sus funciones objetivo**

Nivel educativo	$f_1^*$ [# de escuelas]	$f_2^*$ [metros]
preescolar	3	0
secundaria	3	1900
medio superior	7	253 336

Tabla 16: Valores óptimos de las funciones objetivos (número de escuelas y transmisión), utilizando el método lexicográfico, del modelo de cobertura.

**Escuelas candidatas nuevas**

# de escuela	Nivel educativo	Bloque
50	preescolar	243
51	preescolar	244
52	preescolar	250
53	secundaria	244
54	secundaria	247
55	secundaria	250
56	medio superior	190
57	medio superior	240
58	medio superior	241
59	medio superior	243
60	medio superior	244
61	medio superior	247
62	medio superior	261

Tabla 17: Escuelas candidatas nuevas en el municipio de Santa María Jalapa del Marqués.

Estas escuelas candidatas nuevas son justo eso, candidatas nuevas. Eso quiere decir que actualmente no existen y por lo tanto tiene cero sanitarios y cero aulas

de cualquier tipo de daño.

Luego de estos resultados se tienen un total de 62 escuelas candidatas: 20 escuelas candidatas del nivel educativo preescolar, 20 escuelas candidatas del nivel educativo primaria, 13 escuelas candidatas del nivel educativo secundaria y 9 escuelas candidatas del nivel educativo medio superior. Con estos últimos datos se tiene todo lo necesario para alimentar la última parte de la metodología: el modelo de localización.

#### **4.6. Modelo de localización**

El modelo de localización propuesto con programación lineal fue resuelto con el método de sumas ponderadas a través de Cplex Studio IDE 12.9.0. En un principio se trató de resolver esta parte de la metodología con Lingo, pero dada la complejidad del problema y el tiempo necesario para encontrar las soluciones, se decidió adquirir Cplex Studio IDE 12.9.0. En el anexo E se encuentra el archivo de datos empleado para la solución del modelo de localización propuesto para el nivel educativo preescolar. Los resultados determinan la prescripción de la solución del modelo de localización propuesto para cada escuela en cada nivel educativo. A continuación, se mencionan los valores de los parámetros utilizados en el modelo de localización propuesto de la zona estudiada. Los parámetros y los datos que alimentan al modelo de localización propuesto pueden cambiar dependiendo de la zona a estudiar.

Se consideraron los 15 grados escolares ofrecidos por los 4 niveles educativos (ver tabla 18). Dependiendo de la edad que un estudiante cumpla en cierto año, este estudiante deberá estar en una clase de cierto grado escolar. Por ejemplo, si un estudiante cumple 5 años entre el 1 de enero de cierto año y el 31 de diciembre de ese mismo año, entonces ese estudiante representa una demanda para el tercer grado de preescolar ( $g = 03$ ).

### Grados escolares del caso de estudio

Nivel Educativo	Grado $g$	Descripción
preescolar	01	primer grado de preescolar
	02	segundo grado de preescolar
	03	tercer grado de preescolar
primaria	04	primer grado de primaria
	05	segundo grado de primaria
	06	tercer grado de primaria
	07	cuarto grado de primaria
	08	quinto grado de primaria
	09	sexto grado de primaria
secundaria	10	primer grado de secundaria
	11	segundo grado de secundaria
	12	tercer grado de secundaria
medio superior	13	primer grado de medio superior
	14	segundo grado de medio superior
	15	tercer grado de medio superior

Tabla 18: Nomenclatura de los grados escolares estudiados.

Para cada nivel educativo, los agrupamientos y las configuraciones de las clases que se consideran en el modelo de localización propuesto son aquellos observados en las escuelas existentes, de acuerdo a la encuesta levantada en la zona. Esto quiere decir que, si se prescribe a que una escuela candidatas nueva opere, entonces esta escuela debe operar con un agrupamiento y configuración de clases que ya exista en alguna escuela del mismo nivel educativo de la zona. Los agrupamientos y configuraciones a considerar se encuentran en la tabla 19.

### Agrupaciones y configuraciones del caso de estudio

$a$	Preescolar	Primaria	Secundaria	Media Superior
$U$	{01}, {02}, {03}	{04}, {05}, {06}, {07}, {08}, {09}	{10}, {11}, {12}	{13}, {14}, {15}
$D$	{01, 02}, {03}	{04, 05}, {06, 07}, {08, 09}	{10, 11}, {12}	<i>no existe</i>
$T$	{01, 02, 03}	{04, 05, 06}, {07, 08, 09}	{10, 11, 12}	<i>no existe</i>
$S$	<i>no existe</i>	{04, 05, 06, 07, 08, 09}	<i>no existe</i>	<i>no existe</i>

Tabla 19: Configuraciones posibles de las clases dado el agrupamiento de una escuela.

Los parámetros referentes a las combinaciones  $(a, c)$  (ver tabla 20) fueron propuestas con base en distintos hechos. Para  $PenExc_{ac}$  y  $PenFal_{ac}$  además del nivel



educativo, se considera, respectivamente, que el exceso de estudiantes es menos preocupante en clases que atienden un único grado que en en clases que atienden más grados y que el déficit de estudiantes es más preocupante en clases que atienden un único grado que en clases que atienden más grados.

### Parámetros del caso de estudio

Nivel educativo	$(a, c)$	$PenExc$ [punto estudiante]	$PenFal$ [punto estudiante]	$MaxCla$ [clase]	$MaxEstTol$ [estudiante]	$MinEstTol$ [estudiante]	$MaxExc$ [estudiante]
Preescolar	$(U, \{01\})$	1	3	6	16	9	10
	$(U, \{02\})$	1	3	6	16	9	10
	$(U, \{03\})$	1	3	6	16	9	10
	$(D, \{01, 02\})$	2	2	1	12	7	8
	$(D, \{03\})$	1	3	1	16	9	10
	$(T, \{01, 02, 03\})$	3	1	1	9	5	6
Primaria	$(U, \{04\})$	1	4	7	20	11	10
	$(U, \{05\})$	1	4	7	20	11	10
	$(U, \{06\})$	1	4	7	20	11	10
	$(U, \{07\})$	1	4	7	20	11	10
	$(U, \{08\})$	1	4	7	20	11	10
	$(U, \{09\})$	1	4	7	20	11	10
	$(D, \{04, 05\})$	2	3	1	17	9	8
	$(D, \{06, 07\})$	2	3	1	17	9	8
	$(D, \{08, 09\})$	2	3	1	17	9	8
	$(T, \{04, 05, 06\})$	3	2	1	14	8	6
	$(T, \{07, 08, 09\})$	3	2	1	14	8	6
	$(S, \{04, 05, 06, 07, 08, 09\})$	4	1	1	11	6	4
Secundaria	$(U, \{10\})$	1	3	8	24	13	10
	$(U, \{11\})$	1	3	8	24	13	10
	$(U, \{12\})$	1	3	8	24	13	10
	$(D, \{10, 11\})$	2	2	1	12	7	8
	$(D, \{12\})$	1	3	1	24	13	10
	$(T, \{10, 11, 12\})$	3	1	1	8	5	6
medio superior	$(U, \{15\})$	1	1	9	28	15	10

Tabla 20: Parámetros relacionados a las distintas combinaciones  $(a, c)$ .

En toda escuela encuestada se observó una o cero clases que atienden a la misma configuración de grados para agrupamientos distintos al  $U$  (único); por ejemplo, en ninguna escuela encuestada se observaron dos clases tal que ambas atiendan tanto a los estudiantes del grado 04 y a los estudiantes del grado 05. Si existieran dos clases así, lo mejor sería que una clase atienda a los estudiantes del grado 04 y la otra clase a los estudiantes del grado 05. Respecto a las clases con agrupamiento  $U$ , se estandarizó un mismo valor para cada nivel educativo, de acuerdo a la disponibilidad del terreno de cada escuela existente y de los sitios que albergarían a las escuelas candidatas nuevas.

Para  $MaxCla_{ac}$  y  $MinCla_{ac}$  se consideró el nivel educativo y el número de gra-

dos que atendía cada clase. Para  $MaxExc$  solamente se consideró el número de grados que atendía cada clase.

De acuerdo a la información que proporcionaron (más allá de la solicitada en la encuesta) los directores de las escuelas encuestadas, se decidió clasificar el daño y carencia de servicios de las aulas en 6 categorías (ver tabla 21). Así mismo, algunos directores de estas escuelas proporcionaron datos sobre la cantidad monetaria asignada, por parte del Instituto Oaxaqueño Constructor de Infraestructura Física Educativa (IOCIFED), a sus escuelas para la reconstrucción de estas de acuerdo con el daño que estas presentaban; con una pequeña interpolación de estos datos se generan los parámetros  $CosRec_d$  y  $CosSan$  (ver tabla 22).

#### Condiciones de las aulas del caso de estudio

$d$	Descripción
0	sin daño y con todos los servicios básicos necesarios
1	daño menor (piso, pared y/o techo)
2	daño menor (piso, pared y/o techo) sin algún(os) servicio(s) básico(s) necesario(s)
3	daño mayor (piso, pared y/o techo) con (o sin) servicios básicos necesarios
4	obra inconclusa, con (o sin) servicios básicos necesarios
5	aulas a construir (que no existen o que fueron demolidas)

Tabla 21: Condición de la infraestructura  $d$  presente en las aulas.

En tabla 22 se encuentra otros 2 parámetros,  $CosOpe$  y  $MatMin$ . El primero se obtuvo con un promedio de la remuneración anual (incluyendo bonos y aguinaldo) a profesores de distintos niveles educativos (a través del tabulador salarial mensual personal de base que publicó la dirección de recursos humanos del gobierno del estado de Oaxaca); el segundo parámetro fue resultado del número de estudiantes mínimo observado en cualquiera de las escuelas encuestadas.

### Costos y matrícula mínima del caso de estudio

$MatMin$ [estudiante]	4					
$CosSan$ [ $\frac{\$}{sanitario}$ ]	50 000					
$CosOpe$ [ $\frac{\$}{aula}$ ]	250 000					
$CosRec_d$ [ $\frac{\$}{aula}$ ]	Condición de la infraestructura $d$					
	0	1	2	3	4	5
	0	200 000	400 000	600 000	800 000	1 000 000

Tabla 22: Los parámetros relacionados con los costos y con la matrícula mínima necesaria para que una escuela opere fueron los mismos para cualquier nivel educativo.

Dada la infinidad de posibles ponderaciones a las tres funciones objetivo, se decidió utilizar cuantos de 10%, que cada función objetivo tenga siempre una prioridad mayor a 0%, y que el orden de importancia de las funciones objetivo sea siempre:  $f_1 \succeq f_2 \succeq f_3$ ; con base en lo anterior, surgen 8 escenarios diferentes. El modelo de localización propuesto fue resuelto para cada nivel educativo con cada uno de estos 8 escenarios. En la tabla 23 se observa la ponderación para cada escenario.

### Ponderación de las funciones objetivo

Función objetivo	Escenario							
	A	B	C	D	E	F	G	H
$f_1$	80 %	70 %	60 %	60 %	50 %	50 %	40 %	40 %
$f_2$	10 %	20 %	30 %	20 %	30 %	40 %	40 %	30 %
$f_3$	10 %	10 %	10 %	20 %	20 %	10 %	20 %	30 %

Tabla 23: Ponderación de las funciones objetivo en los distintos escenarios considerados.

En la tabla 24 se encuentran los valores utilizados en el proceso de normalización de las funciones objetivo del modelo de localización propuesto para cada uno de los niveles educativos. Estos valores fueron obtenidos utilizando Cplex Studio IDE 12.9.0. Con excepción del nivel educativo primaria, la brecha de optimalidad utilizada fue de 0.0001 (el valor predeterminado del software); y en el caso del nivel educativo primaria la brecha de optimalidad se aumentó a .0140 (pues con la brecha de optimalidad predeterminada transcurrían más de 48 horas y el software no terminaba el proceso). (*International Business Machines Corporation [IBM], 2013*)

### Factores de normalización de las funciones objetivo

Función objetivo	Nivel Educativo			
	Preescolar	Primaria	Secundaria	Medio superior
$f_1(x_1^*)$ [metro]	173 851.590	426 525.550	324 133.696	843 627.104
$f_1(x_2^*)$ [metro]	1 164 130.520	5 085 532.000	3 129 917.478	17 184 189.975
$f_1(x_3^*)$ [metro]	223 500.860	440 650.541	445 900.891	1 336 527.104
$max$ [metro]	1 164 130.520	5 085 532.000	3 129 917.478	17 184 189.975
$min$ [metro]	173 851.590	426 525.550	324 133.696	843 627.104
$\theta_1$ [metro]	990 278.930	4 659 006.450	2 805 783.782	16 340 562.871
$f_2(x_1^*)$ ( $\times 10^3$ ) [\$]	37 700	41 150	19 350	42 800
$f_2(x_2^*)$ ( $\times 10^3$ ) [\$]	11 950	12 000	5 250	7 500
$f_2(x_3^*)$ ( $\times 10^3$ ) [\$]	27 300	18 000	8 500	15 000
$max$ ( $\times 10^3$ ) [\$]	37 700	41 150	19 350	42 800
$min$ ( $\times 10^3$ ) [\$]	11 950	12 000	5 250	7 500
$\theta_2$ ( $\times 10^3$ ) [\$]	25 750	29 150	14 100	35 300
$f_3(x_1^*)$ [punto]	45	44	56	200
$f_3(x_2^*)$ [punto]	295	457	206	115
$f_3(x_3^*)$ [punto]	0	0	0	0
$max$ [punto]	295	457	206	200
$min$ [punto]	0	0	0	0
$\theta_3$ [punto]	295	457	206	200

Tabla 24: Valores obtenidos en el proceso de normalización de las funciones objetivo del modelo de localización propuesto.

Antes de mostrar los resultados, se explicará como leerlos (ver la tabla 25). Por ejemplo, si para cierta escuela existente de nivel educativo primaria la prescripción es *expandir*  $\rightarrow U : 1, 1, 1, 2, 1, 1$  significa que esa escuela existente debe expandirse

a una escuela de agrupamiento único con 7 clases (dos clases de grado 07 y una clase para los otros cinco grados). Otro ejemplo, si para una escuela candidata nueva de nivel educativo secundaria la prescripción es *abrir D* significa que tal escuela debe ser abrir con un agrupamiento doble.

### Lectura de las prescripciones

Prescripción	Lectura
<i>mantener igual</i>	La escuela existente debe permanecer sin cambios.
<i>mantener a</i>	La escuela existente debe mantenerse con el mismo agrupamiento $a$ , pero cambia el número de clases de cada configuración.
<i>expandir</i> → $a$	La escuela existente debe expandirse a una escuela de agrupamiento $a$ .
<i>reducir</i> → $a$	La escuela existente debe reducirse a una escuela de agrupamiento $a$ .
<i>abrir a</i>	La escuela candidata nueva debe abrir con un agrupamiento $a$ .
<i>no abrir</i>	La escuela candidata nueva no debe abrir.
<i>cerrar</i>	La escuela existente debe cerrar.

Tabla 25: Lectura de las prescripciones de la solución del modelo de localización propuesto para cada escuela. Si  $a = U$ , se especifica el número de grupos necesarios para cada configuración.

Los resultados de la prescripción de la solución del modelo de localización propuesto para cada sitio candidato a instalar una escuela están en las tablas 26, 27, 28 y 29. Además, en las tablas 30, 31, 32 y 33 podemos observar algunos indicadores importantes de acuerdo a la solución de cada escenario en cada nivel educativo, en estas tablas el escenario  $N$  se refiere a la situación actual de las escuelas. Para encontrar las soluciones del modelo de localización propuesto se utilizó, nuevamente, Cplex Studio IDE 12.9.0. La brecha de optimalidad utilizada fue la predeterminada (0.0001) para los niveles educativos preescolar, secundaria y medio superior; para el nivel educativo primaria, la brecha de optimalidad se aumentó a 0.0105 debido al costo computacional (nuevamente transcurrían más de 48 horas y el software no terminaba el proceso con la brecha de optimalidad predeterminada).

## Prescripción en el nivel educativo preescolar

Escuela	Escenario								
	N	A	B	C	D	E	F	G	H
E01	U : 1, 1, 1	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E02	U : 1, 1, 1	reducir → D	reducir → T	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E03	T	expandir → U : 1, 1, 1	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar
E04	T	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	cerrar	expandir → U : 1, 1, 1	cerrar	cerrar	cerrar	expandir → U : 1, 1, 1
E05	U : 1, 1, 2	expandir → U : 2, 2, 1	mantener → U : 2, 1, 1	expandir → U : 2, 2, 1	expandir → U : 2, 2, 2	mantener → U : 2, 2, 1	expandir → U : 2, 1, 1	expandir → U : 2, 2, 1	mantener → U : 2, 1, 1
E06	T	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	mantener igual	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	mantener igual	mantener igual	expandir → U : 1, 2, 2
E07	U : 1, 2, 3	reducir → U : 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1	reducir → U : 2, 1, 1
E08	T	expandir → U : 2, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 2, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 2, 1, 1
E09	T	mantener igual	mantener igual	cerrar	mantener igual	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar
E10	T	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E11	T	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → D	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → D	expandir → D	expandir → U : 1, 1, 1
E12	T	expandir → D	expandir → D	expandir → D	expandir → D	expandir → D	expandir → D	expandir → D	expandir → D
E50	no existe	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T
E51	no existe	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T	abrir T	no abrir	abrir T
E13	D	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1	expandir → U : 1, 1, 1
E14	T	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E15	T	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar
E16	T	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E52	no existe	abrir T	abrir T	no abrir	no abrir	no abrir	no abrir	no abrir	no abrir
E17	T	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual

Tabla 26: Soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo preescolar.

## Prescripción en el nivel educativo primaria

Escuela	Escenario								
	N	A	B	C	D	E	F	G	H
E18	U : 3, 2, 2, 2, 2, 2	reducir → U : 2, 2, 2, 2, 2, 2	reducir → U : 1, 2, 2, 2, 2, 2	reducir → U : 2, 2, 2, 1, 2, 2	reducir → U : 2, 2, 1, 2, 2, 2	reducir → U : 1, 2, 2, 2, 2, 2	reducir → U : 2, 2, 2, 1, 2, 2	reducir → U : 1, 2, 2, 2, 2, 2	reducir → U : 2, 2, 2, 1, 2, 2
E19	U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D
E20	D	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar
E21	D	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar
E22	U : 1, 2, 2, 1, 1, 1,	mantener U : 1, 1, 1, 1, 2, 2	mantener U : 1, 1, 1, 1, 2, 2	mantener U : 1, 1, 1, 1, 2, 2	mantener U : 1, 1, 1, 1, 2, 2	expandir → U : 2, 1, 1, 1, 2, 2	mantener U : 1, 1, 1, 1, 2, 2	mantener U : 1, 1, 1, 1, 2, 2	expandir → U : 1, 2, 1, 2, 2, 2
E23	U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	reducir → T
E24	U : 3, 3, 3, 3, 3, 3	reducir → U : 2, 3, 2, 2, 3, 4	reducir → U : 2, 2, 2, 1, 2, 4	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 2, 1	reducir → U : 2, 2, 2, 1, 2, 1	reducir → U : 2, 2, 2, 3, 3, 3	reducir → U : 1, 3, 2, 3, 2, 4	reducir → U : 3, 1, 1, 3, 1, 2	reducir → U : 2, 1, 3, 3, 4, 4
E25	U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	mantener igual	expandir → U : 2, 2, 2, 2, 3, 1	expandir → U : 2, 3, 2, 3, 3, 4	expandir → U : 2, 2, 2, 3, 3, 4	expandir → U : 2, 2, 1, 1, 2, 2	expandir → U : 2, 1, 1, 1, 2, 1	expandir → U : 1, 3, 2, 1, 4, 3	expandir → U : 2, 3, 1, 1, 1, 2
E26	T	mantener igual	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar	cerrar
E27	T	mantener igual	mantener igual	reducir → S	mantener igual	reducir → S	reducir → S	reducir → S	reducir → S
E28	U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	mantener igual	mantener igual	reducir → D	mantener igual	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D
E29	D	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E30	T	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E31	T	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	reducir → D	mantener igual
E32	U : 1, 1, 2, 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	reducir → U : 1, 1, 1, 1, 1, 1	mantener U : 1, 1, 1, 1, 1, 2
E33	D	reducir → T	reducir → T	reducir → T	reducir → T	reducir → T	reducir → T	reducir → T	reducir → T
E34	S	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual
E35	T	mantener igual	reducir → S	mantener igual	reducir → S	mantener igual	reducir → S	mantener igual	mantener igual
E36	S	mantener igual	mantener igual	cerrar	mantener igual	mantener igual	cerrar	cerrar	mantener igual
E37	S	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual	mantener igual

Tabla 27: Soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo primaria.

### Prescripción en el nivel educativo secundaria

		Escenario								
		<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
<i>E38</i>	<i>U</i> : 5, 4, 4	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 3, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 3, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 3, 3, 3	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 3, 3, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 1, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 3, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 3, 3, 2	
<i>E39</i>	<i>D</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	
<i>E40</i>	<i>U</i> : 2, 2, 2	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 1, 2, 1	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 1, 2, 1	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 1, 1	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 1, 1	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 1, 1	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 1, 2, 1	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 1, 1	
<i>E41</i>	<i>U</i> : 3, 3, 3	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	
<i>E42</i>	<i>T</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	
<i>E43</i>	<i>U</i> : 1, 1, 1	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>reducir</i> → <i>T</i>	<i>reducir</i> → <i>D</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>reducir</i> → <i>D</i>	<i>reducir</i> → <i>D</i>	<i>reducir</i> → <i>D</i>	<i>reducir</i> → <i>D</i>	
<i>E44</i>	<i>U</i> : 1, 1, 1	<i>reducir</i> → <i>D</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>reducir</i> → <i>D</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>reducir</i> → <i>D</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	
<i>E45</i>	<i>T</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>cerrar</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	
<i>E53</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>abrir</i> <i>T</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	
<i>E46</i>	<i>U</i> : 1, 1, 1	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	
<i>E54</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>abrir</i> <i>T</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	
<i>E55</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>abrir</i> <i>T</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	
<i>E47</i>	<i>T</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	<i>mantener</i> <i>igual</i>	

Tabla 28: Soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo secundaria.

### Prescripción en el nivel educativo medio superior

		Escenario								
		<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
<i>E56</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>abrir</i> <i>U</i> : 4, 4, 4	<i>abrir</i> <i>U</i> : 4, 4, 4	<i>abrir</i> <i>U</i> : 3, 3, 3	<i>abrir</i> <i>U</i> : 4, 4, 4	<i>abrir</i> <i>U</i> : 3, 3, 3	<i>abrir</i> <i>U</i> : 3, 3, 3	<i>abrir</i> <i>U</i> : 3, 3, 3	<i>abrir</i> <i>U</i> : 3, 3, 3	<i>abrir</i> <i>U</i> : 3, 3, 3
<i>E57</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1
<i>E58</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1
<i>E48</i>	<i>U</i> : 1, 1, 0	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>	<i>cerrar</i>
<i>E59</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>
<i>E60</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>
<i>E61</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>	<i>no</i> <i>abrir</i>
<i>E49</i>	<i>U</i> : 5, 5, 5	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	<i>reducir</i> → <i>U</i> : 2, 2, 2	
<i>E62</i>	<i>no</i> <i>existe</i>	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	<i>abrir</i> <i>U</i> : 1, 1, 1	

Tabla 29: Soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo medio superior.



### Indicadores en el nivel educativo preescolar

	Escenario								
	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
# de escuelas que operarán [escuela]	17	20	19	16	18	15	15	14	16
# de estudiantes excedentes [estudiante]	134	17	112	165	25	115	182	167	15
# de estudiantes déficit [estudiante]	5	6	6	4	4	3	3	2	1
Distancia máxima recorrida [m]	ND	12 600	12 600	12 600	12 600	12 600	12 600	12 600	12 600
costo (x10 <sup>3</sup> ) [\$]	19 100	34 400	27 600	20 050	31 500	22 500	17 900	17 400	30 100
# de estudiantes que recorren una distancia mayor a la distancia crítica [estudiante]	ND	1	1	9	5	7	11	15	9
Función objetivo	ND	0.2922	0.3882	0.4546	0.3942	0.4797	0.4974	0.5289	0.4793

Tabla 30: Indicadores importantes para las soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo preescolar.

### Indicadores en el nivel educativo primaria

	Escenario								
	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
# de escuelas que operarán [escuela]	20	18	17	16	17	17	16	16	17
# de estudiantes excedentes [estudiante]	33	11	11	46	1	5	78	13	1
# de estudiantes déficit [estudiante]	55	0	0	0	0	0	0	0	0
Distancia máxima recorrida [m]	ND	4600	5400	12 600	4600	15 700	12 600	15 700	15 700
costo (x10 <sup>3</sup> ) [\$]	39 750	27 400	25 050	21 900	25 300	23 350	21 200	22 150	23 550
# de estudiantes que recorren una distancia mayor a la distancia crítica [estudiante]	ND	3	5	28	5	28	23	42	19
Función objetivo	ND	0.1825	.260	.3288	.2495	.3217	.3881	.3835	.3067

Tabla 31: Indicadores importantes para las soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo primaria.

### Indicadores en el nivel educativo secundaria

	Escenario								
	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
# de escuelas que operarán [escuela]	10	12	9	9	9	9	9	8	9
# de estudiantes excedentes [estudiante]	43	13	38	50	6	11	98	27	2
# de estudiantes déficits [estudiante]	59	1	0	0	0	0	0	0	0
Distancia máxima recorrida [m]	ND	12 600	12 600	12 600	12 600	12 600	12 600	15 900	33 718
costo (x10 <sup>3</sup> ) [\$]	19 150	15 000	9300	8850	11 450	9750	7950	8550	9750
# de estudiantes que recorren una distancia mayor a la distancia crítica [estudiante]	ND	8	29	25	25	47	25	50	55
Función objetivo	ND	0.2276	0.2926	0.3382	0.2896	0.3431	0.3803	0.3839	0.3212

Tabla 32: Indicadores importantes para las soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo medio secundaria.

### Indicadores en el nivel educativo medio superior

	Escenario								
	<i>N</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
# de escuelas que operarán [escuela]	2	4	4	5	4	5	5	5	5
# de estudiantes excedentes [estudiante]	112	0	0	16	0	0	100	0	0
# de estudiantes déficits [estudiante]	16	0	0	0	0	0	0	0	0
Distancia máxima recorrida [m]	ND	32 800	32 800	21 784	32 800	21 982	21 784	21 982	21 982
costo (x10 <sup>3</sup> ) [\$]	7350	30 400	30 400	27 400	30 400	27 400	23 650	27 400	27 400
# de estudiantes que recorren una distancia mayor a la distancia crítica [estudiante]	ND	60	60	68	60	97	66	97	97
Función objetivo	ND	0.1544	0.232	0.3046	0.2234	0.2979	0.3708	0.3625	0.2849

Tabla 33: Indicadores importantes para las soluciones del problema de localización propuesto para el nivel educativo medio superior.

Plasmar las asignaciones para los estudiantes en todos los grados es demasiada información para mostrar en este espacio, por lo que se exponen sólo las asignaciones de los estudiantes del grado  $g = 01$ .

En la tabla 34 se encuentra los resultados de asignación de los estudiantes de grado  $g = 01$  (de acuerdo al bloque en el que habitan) a las escuelas que ofrecen este grado escolar (escuelas de nivel educativo preescolar).

En la tabla 34 se puede apreciar que sólo en 6 asignaciones se prescribe que un mismo bloque quede asignado entre dos escuelas (doble asignación); esto quiere decir que, para cada uno de estos bloques, parte de los estudiantes que habitan en ellos deben asistir a una escuela asignada y la otra parte debe asistir a la otra escuela. Esto sucede porque no establecieron restricciones que eviten que la demanda de un mismo bloque se fraccione. Si al tomador de decisiones delibera que esto no es pertinente, entonces, para cada uno de estos 6 bloques, se debe decidir a cuál escuela, de las dos asignadas por la solución del modelo de localización propuesto, deben asistir todos los estudiantes que habitan en estos bloques. Esta decisión extra no es algo difícil de hacer, en cambio se gana mucho costo computacional evitando establecer restricciones que prohíban fraccionar la demanda de un mismo bloque.

### Asignación de estudiantes por bloques

# de bloque	Escenario							
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>F</i>	<i>G</i>	<i>H</i>
001	<i>E03</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>
002	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
003	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E02</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>
004	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
005	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
006	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
007	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
008	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>
009	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
010	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
011	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
012	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>

013	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
014	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
015	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
016	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
017	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
018	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
019	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
020	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
021	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
022	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
023	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
024	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
025	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
026	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
027	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
028	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
029	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
030	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
031	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
032	<i>E03</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
033	<i>E03</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>
034	<i>E03</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
035	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>
036	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
037	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
038	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
039	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
040	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
041	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
042	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
043	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>

044	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
045	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
046	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
047	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
048	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>
049	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
050	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
051	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
052	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
053	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E01</i> <i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i> <i>E08</i>	<i>E01</i> <i>E08</i>	<i>E08</i>
054	<i>E05</i> <i>E08</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E08</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>
055	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
056	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
057	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
058	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
059	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
060	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>
061	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
062	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
063	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
064	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
065	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E08</i>
066	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
067	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
068	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>
069	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
070	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
071	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
072	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>

073	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
074	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
075	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
076	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
077	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
078	<i>E08</i>	<i>E07</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
079	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>
080	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
081	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>
082	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E08</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
083	<i>E03</i>	<i>E07</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>
084	<i>E03</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>
085	<i>E03</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
086	<i>E03</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>
087	<i>E03</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>
088	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
089	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
090	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
091	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
092	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
093	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
094	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
095	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
096	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
097	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
098	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
099	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
100	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
101	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
102	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
103	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>

104	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
105	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
106	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
107	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
108	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
109	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
110	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
111	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
112	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
113	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
114	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
115	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
116	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
117	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
118	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
119	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
120	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>
121	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
122	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
123	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
124	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
125	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
126	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
127	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
128	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
129	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
130	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
131	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>
132	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
133	<i>E03</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>
134	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>

135	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
136	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
137	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
138	<i>E03</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>
139	<i>E03</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
140	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
141	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
142	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
143	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
144	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
145	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>
146	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>
147	<i>E08</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E08</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E08</i>
148	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
149	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
150	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>
151	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>
152	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>
153	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>
154	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>
155	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
156	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
157	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
158	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
159	<i>E08</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>
160	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
161	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>
162	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>
163	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E04</i>
164	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
165	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>



166	<i>E02</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
167	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
168	<i>E03</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>
169	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
170	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
171	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
172	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
173	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
174	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
175	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
176	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
177	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
178	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
179	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E08</i>
180	<i>E08</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E08</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E08</i>
181	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
182	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
183	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
184	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
185	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>
186	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>
187	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E06</i>
188	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
189	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
190	<i>E02</i>	<i>E04</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
191	<i>E03</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>	<i>E05</i>	<i>E04</i>
192	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
193	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
194	<i>E08</i>	<i>E07</i>	<i>E05</i>	<i>E08</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E07</i>
195	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
196	<i>E03</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>

197	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
198	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
199	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
200	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
201	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
202	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
203	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
204	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
205	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
206	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
207	<i>E04</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E04</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E07</i>
208	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
209	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
210	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
211	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>	<i>E08</i>
212	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
213	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
214	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
215	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
216	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
217	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
218	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
219	<i>E07</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E07</i>
220	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
221	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
222	<i>E03</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
223	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
224	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>	<i>E05</i>
225	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
226	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
227	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>

228	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
229	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
230	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
231	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
232	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
233	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
234	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E06</i>	<i>E06</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>	<i>E01</i>
235	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
236	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
237	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
238	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
239	<i>E09</i>	<i>E09</i>	<i>E02</i>	<i>E09</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>	<i>E02</i>
240	<i>E10</i>	<i>E10</i> <i>E15</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>
241	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E11</i>
242	<i>E12</i>	<i>E12</i>	<i>E12</i>	<i>E12</i>	<i>E12</i>	<i>E12</i>	<i>E12</i>	<i>E12</i>
243	<i>E50</i>	<i>E50</i>	<i>E50</i>	<i>E50</i>	<i>E50</i>	<i>E50</i>	<i>E50</i>	<i>E50</i>
244	<i>E51</i>	<i>E51</i>	<i>E51</i>	<i>E51</i>	<i>E51</i>	<i>E51</i>	<i>E02</i>	<i>E51</i>
245	<i>E13</i>	<i>E13</i>	<i>E13</i>	<i>E13</i>	<i>E13</i>	<i>E13</i>	<i>E13</i>	<i>E13</i>
246	<i>E14</i>	<i>E14</i>	<i>E14</i>	<i>E14</i>	<i>E14</i>	<i>E14</i>	<i>E14</i> <i>E17</i>	<i>E14</i>
247	<i>E15</i>	<i>E15</i>	<i>E15</i>	<i>E15</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>	<i>E10</i>
248	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
249	<i>E16</i>	<i>E16</i>	<i>E16</i>	<i>E16</i>	<i>E16</i>	<i>E16</i>	<i>E16</i>	<i>E16</i>
250	<i>E52</i>	<i>E52</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>
252	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>	<i>E17</i>
252	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
253	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E13</i>	<i>E11</i>	<i>E11</i>	<i>E13</i>	<i>E16</i>	<i>E11</i>
254	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
255	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>
256	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>	<i>NA</i>

257	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
258	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
259	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
260	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
261	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
262	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA

Tabla 34: Asignación de los estudiantes de grado  $g = 01$  que habitan en cada uno de los bloques de la zona estudiada a las escuelas de educación preescolar. La siglas NA se refieren a que en ese bloque no hay población de grado  $g = 01$ , por lo que no hay asignación.

Para cada escenario se diseñaron dos bosquejos de asignación bloque-escuela. Los primeros bosquejos (ver figuras 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, y 22) muestran la asignación de los bloques que representan a las manzanas urbanas a las escuelas a través de una leyenda de colores. Los segundos bosquejos (ver figuras 9, 11, 13, 15, 17, 19, 21, y 23) muestran la asignación de los bloques que representan a las localidades rurales a las escuelas a través del número de escuela.

En todos estos bosquejos se pueden apreciar que se logra establecer zonas de servicio continuas (ningún bloque queda rodeado únicamente de bloques asignados a otras escuelas). Esto, además, establece una distritación de la zona estudiada, por grado, sin necesidad de introducir restricciones de contigüidad en el modelo de localización propuesto (que a su vez ocasionaría sería un mayor costo computacional).

### Asignación A de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

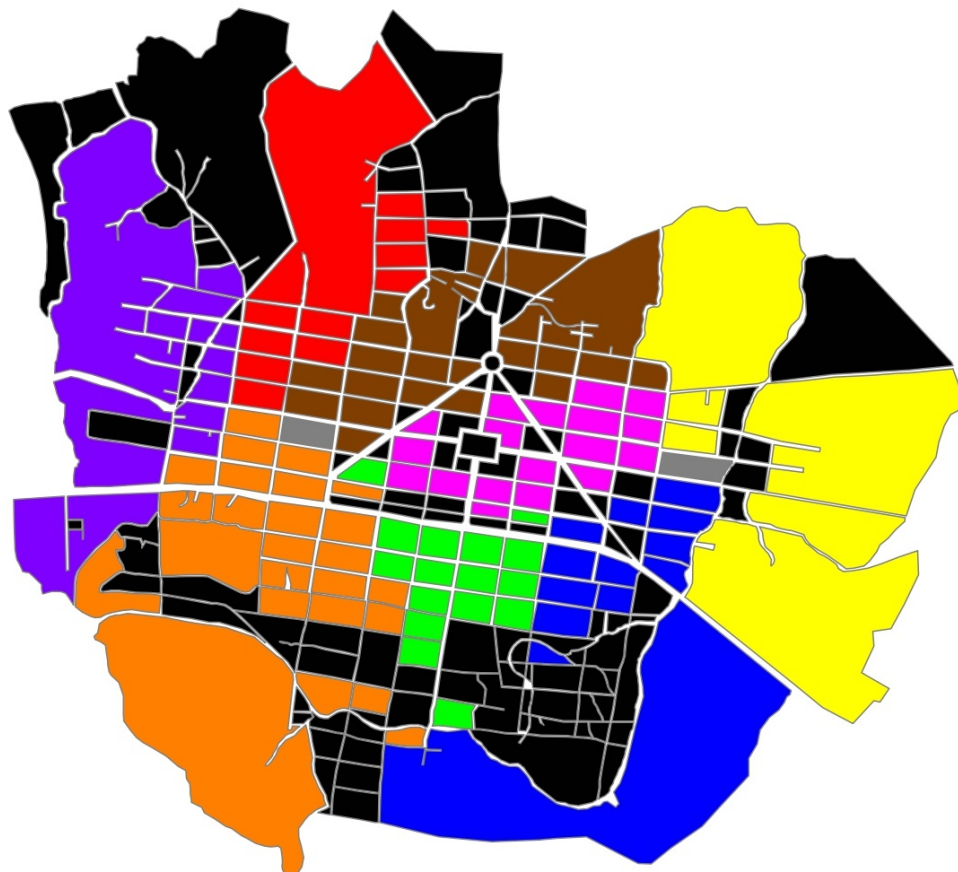
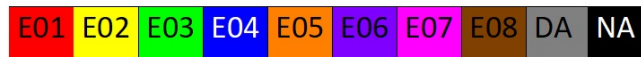


Figura 8: Escenario A: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación A de estudiantes de localidades rurales (g = 01)

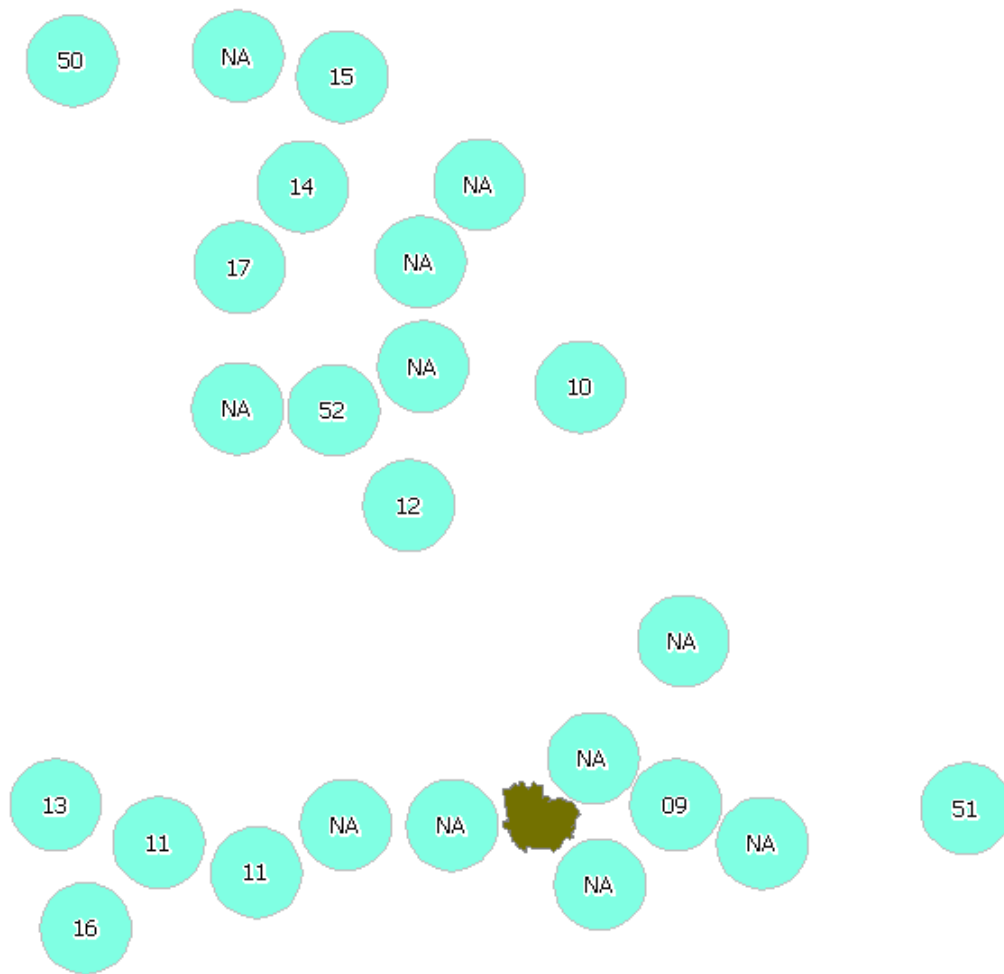


Figura 9: Escenario A: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.

### Asignación B de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

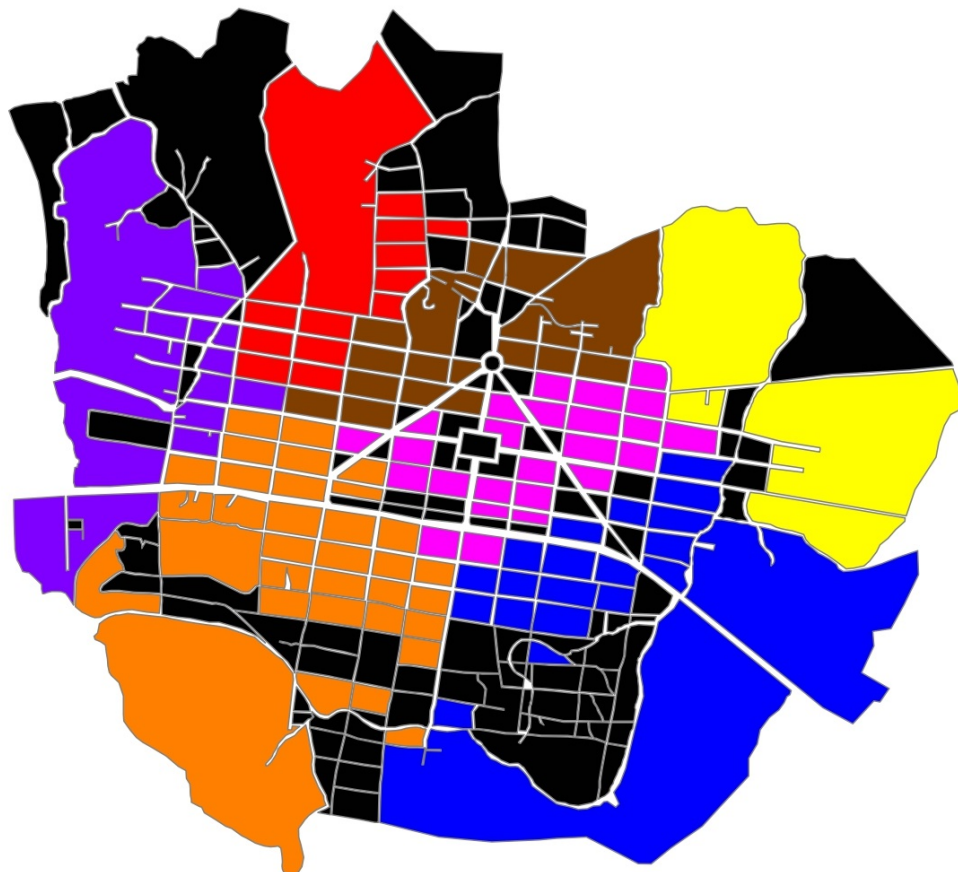


Figura 10: Escenario B: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación B de estudiantes de localidades rurales ( $g = 01$ )

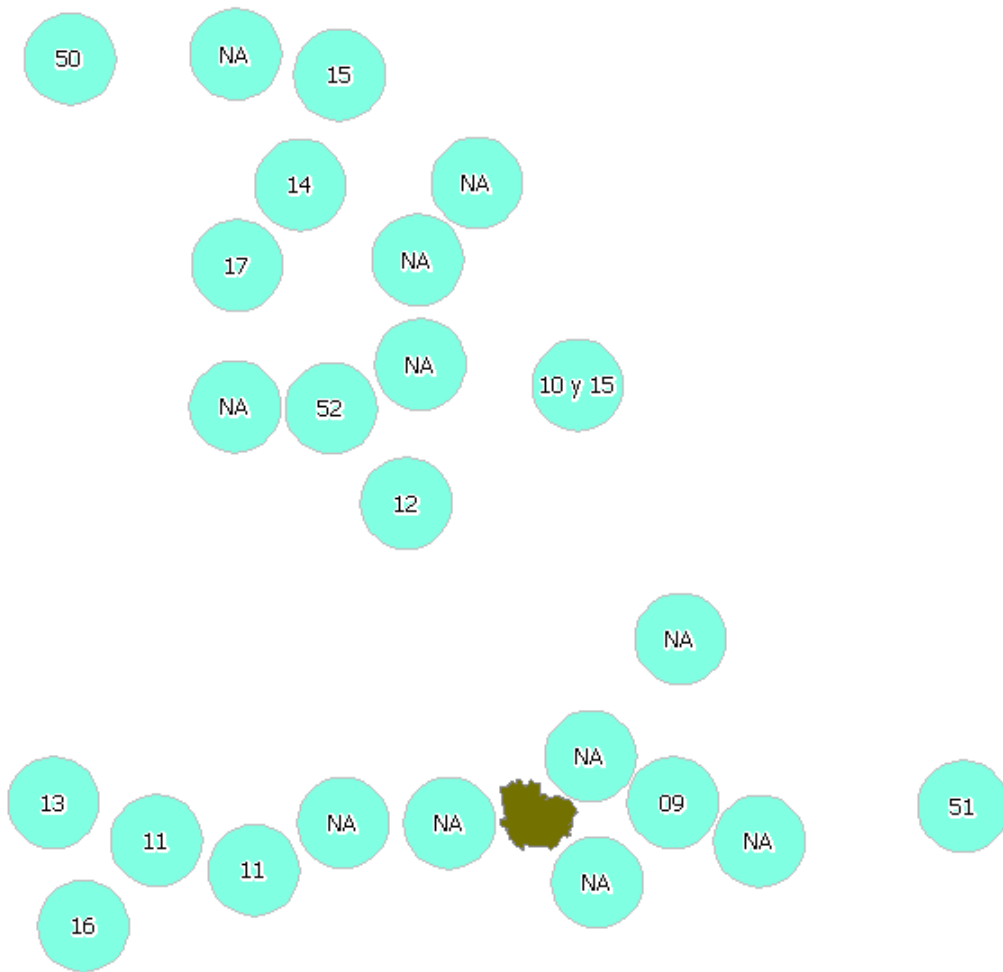


Figura 11: Escenario B: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.



### Asignación C de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

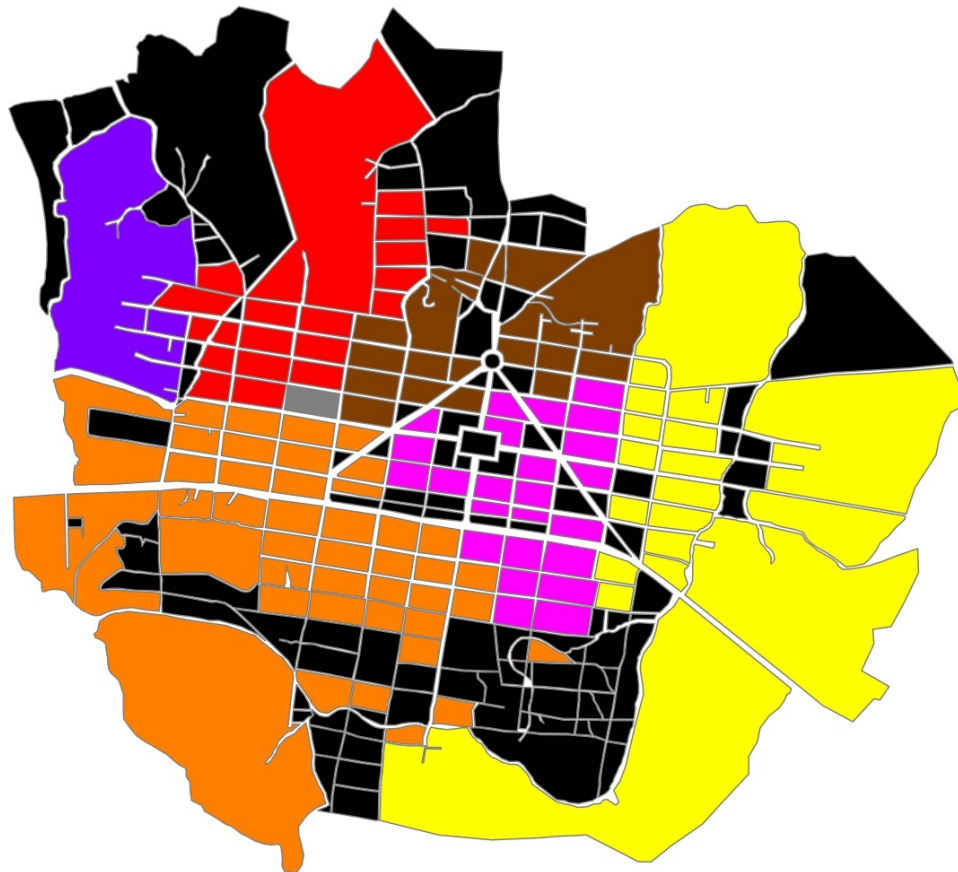


Figura 12: Escenario C: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación C de estudiantes de localidades rurales (g = 01)

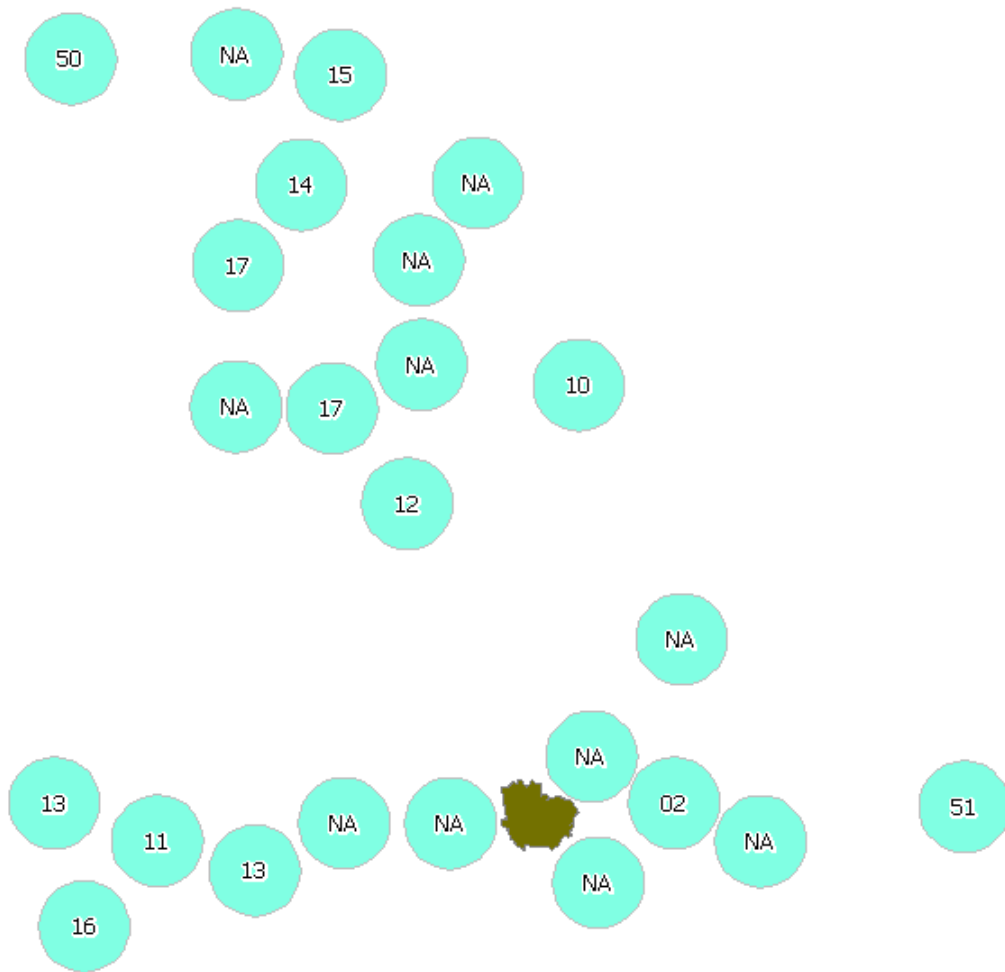


Figura 13: Escenario C: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.

### Asignación D de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

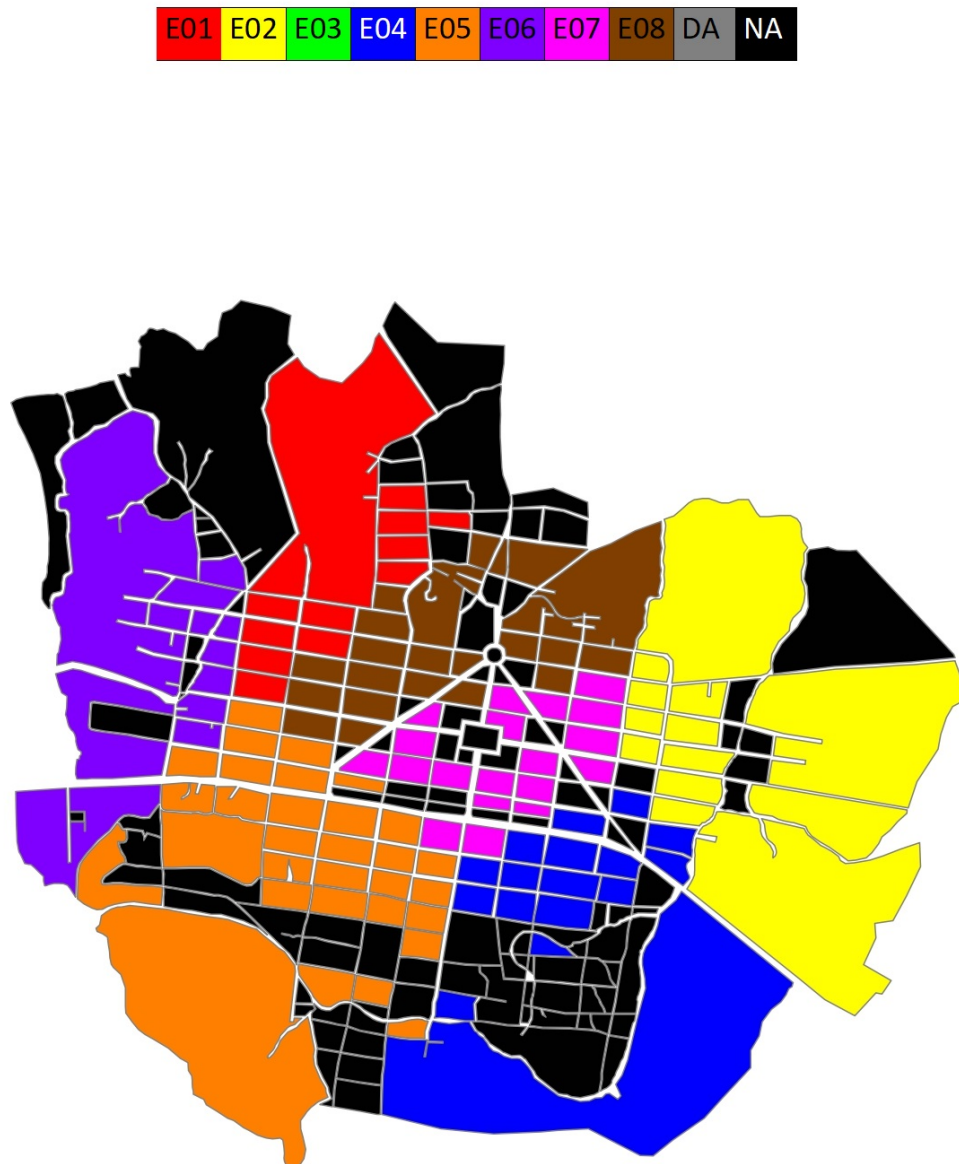


Figura 14: Escenario D: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación D de estudiantes de localidades rurales (g = 01)

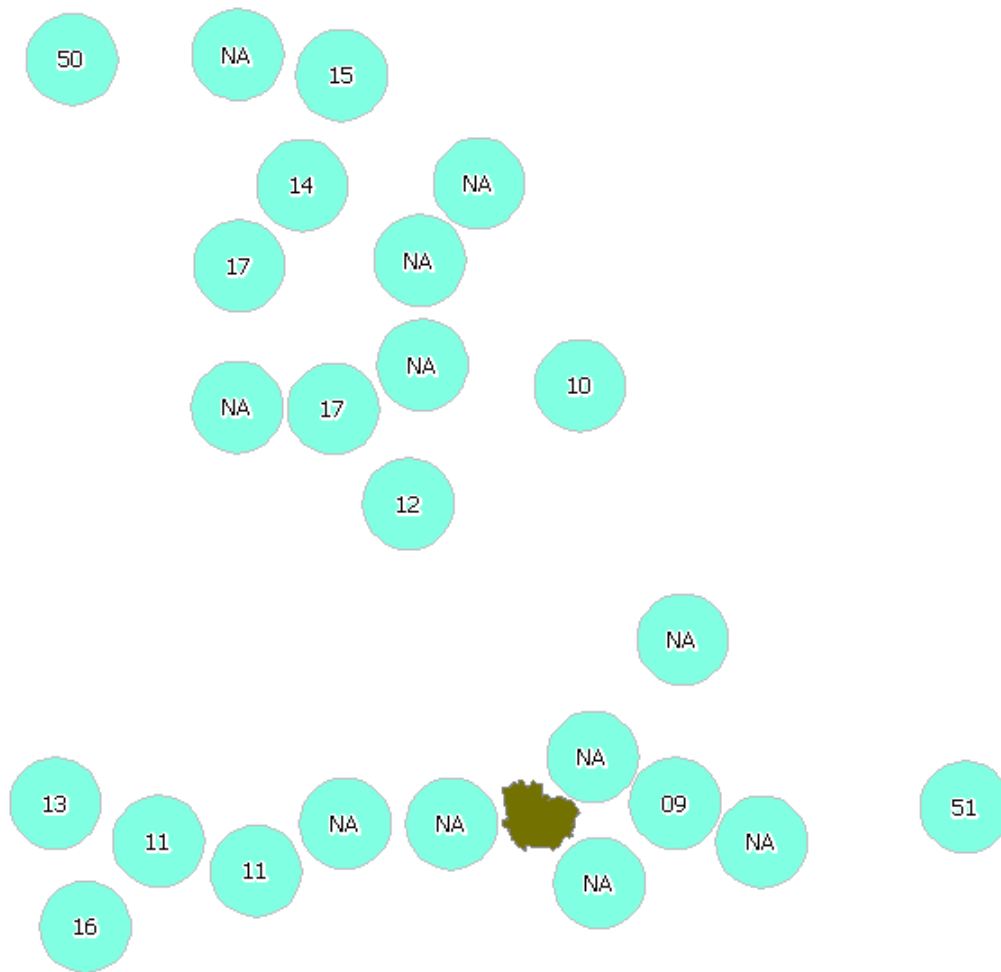


Figura 15: Escenario D: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.

### Asignación E de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

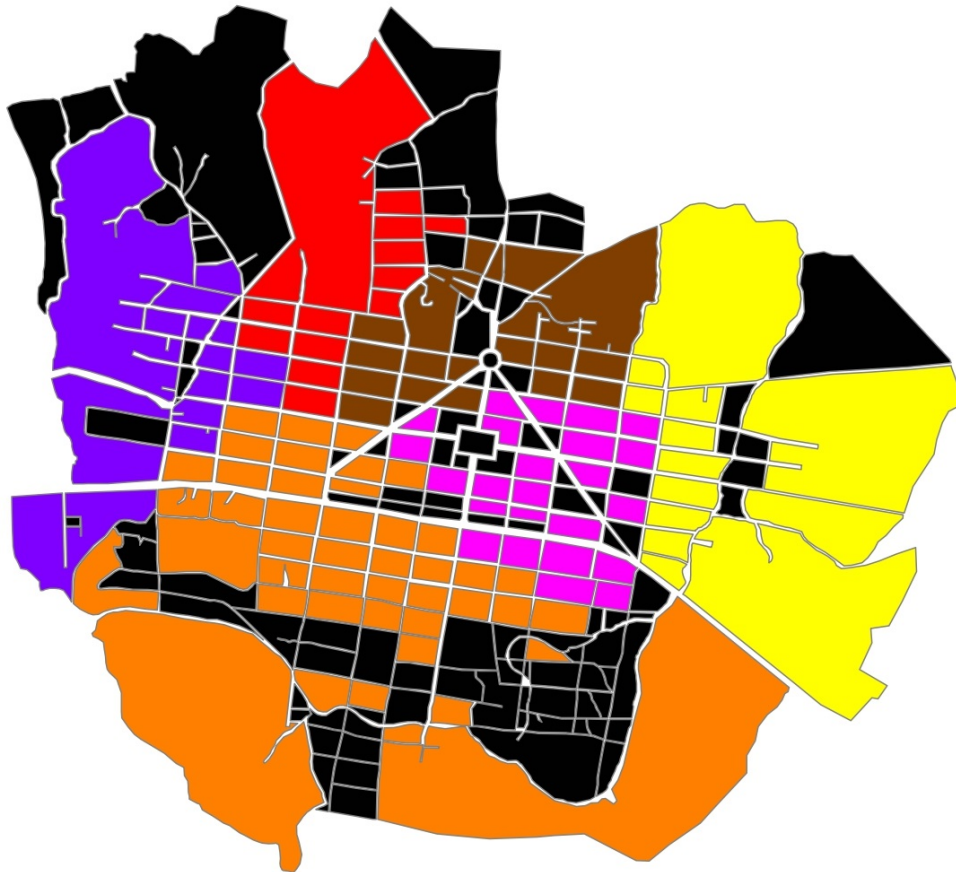


Figura 16: Escenario e: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación E de estudiantes de localidades rurales (g = 01)

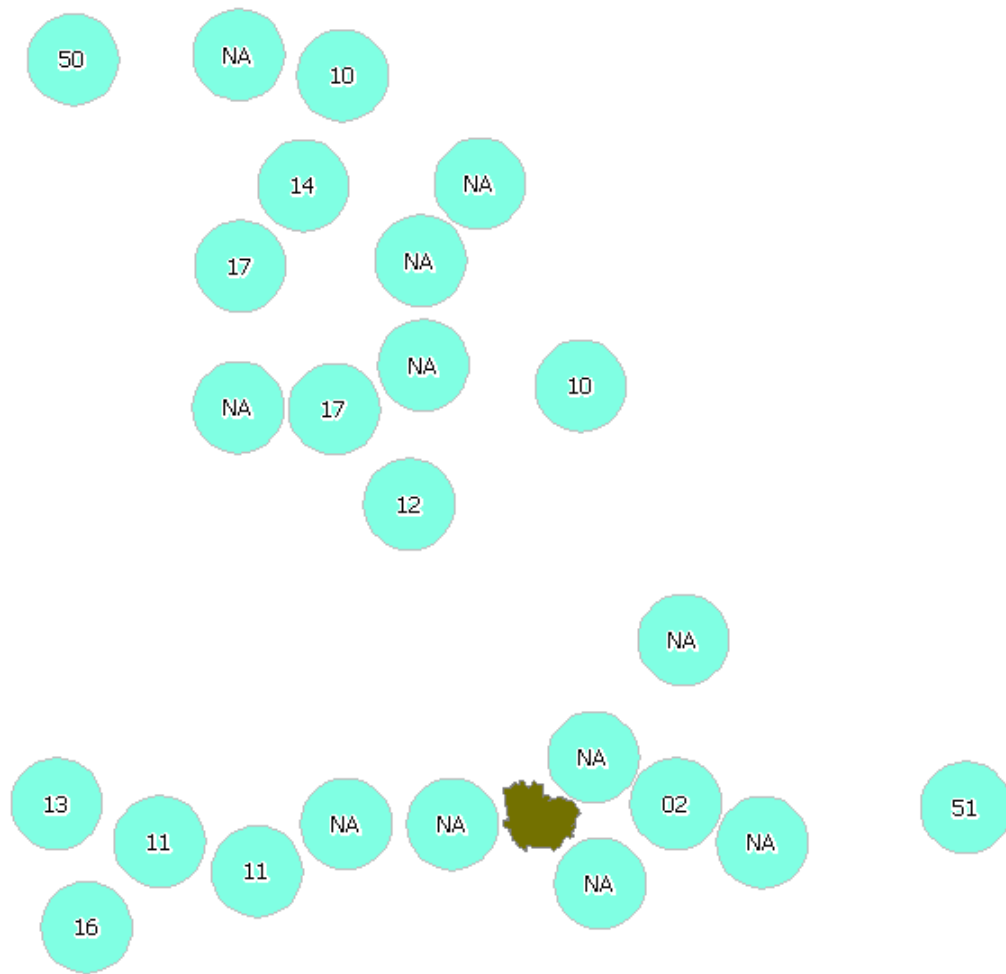


Figura 17: Escenario E: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.

## Asignación F de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

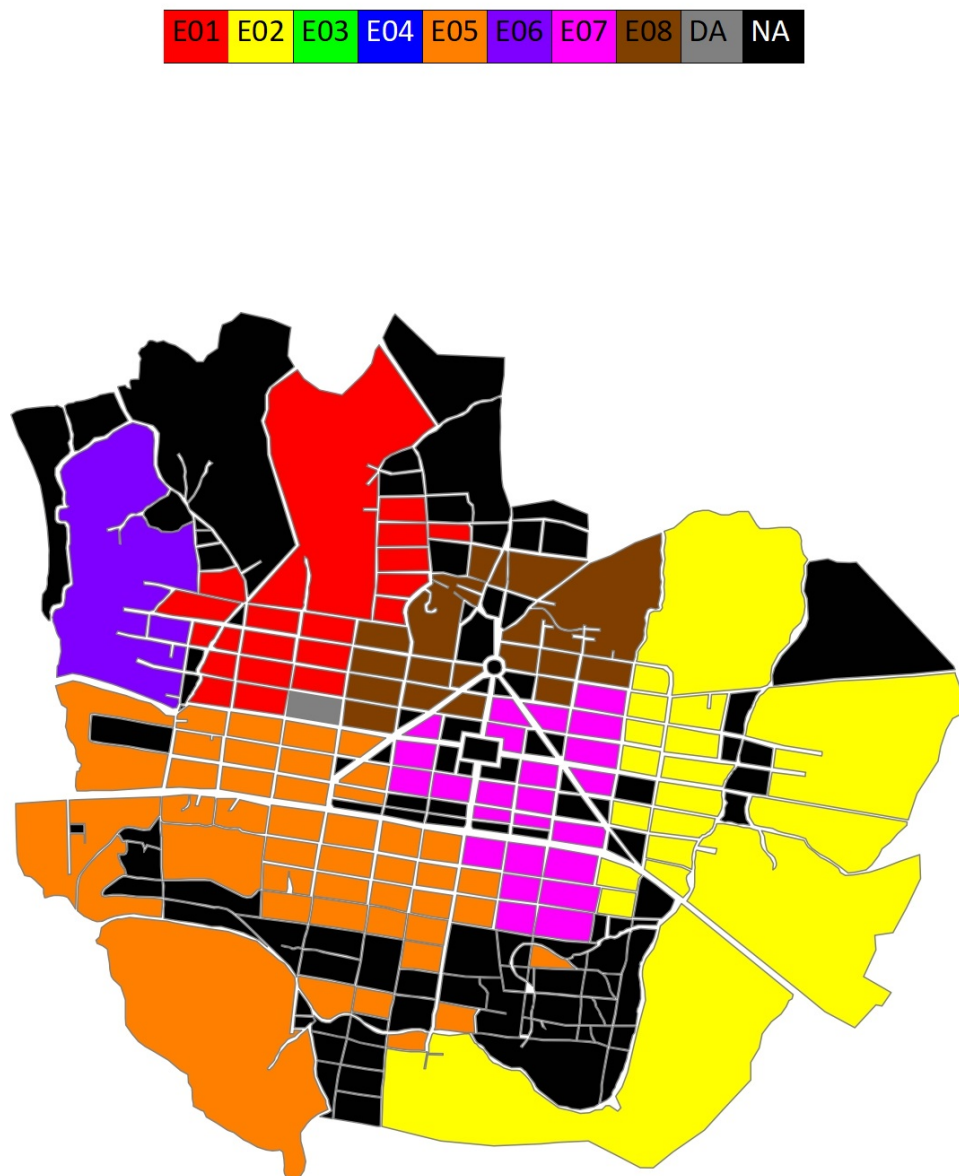


Figura 18: Escenario F: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación F de estudiantes de localidades rurales (g = 01)

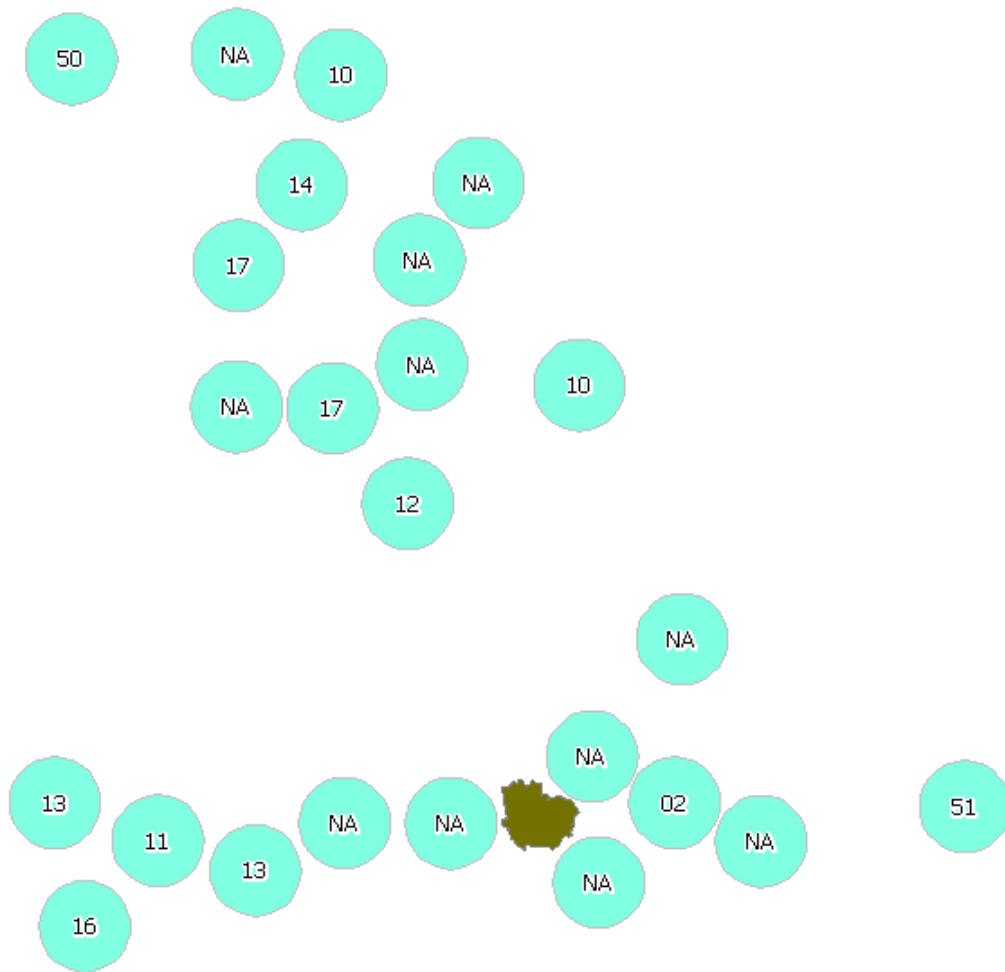


Figura 19: Escenario F: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.



## Asignación G de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

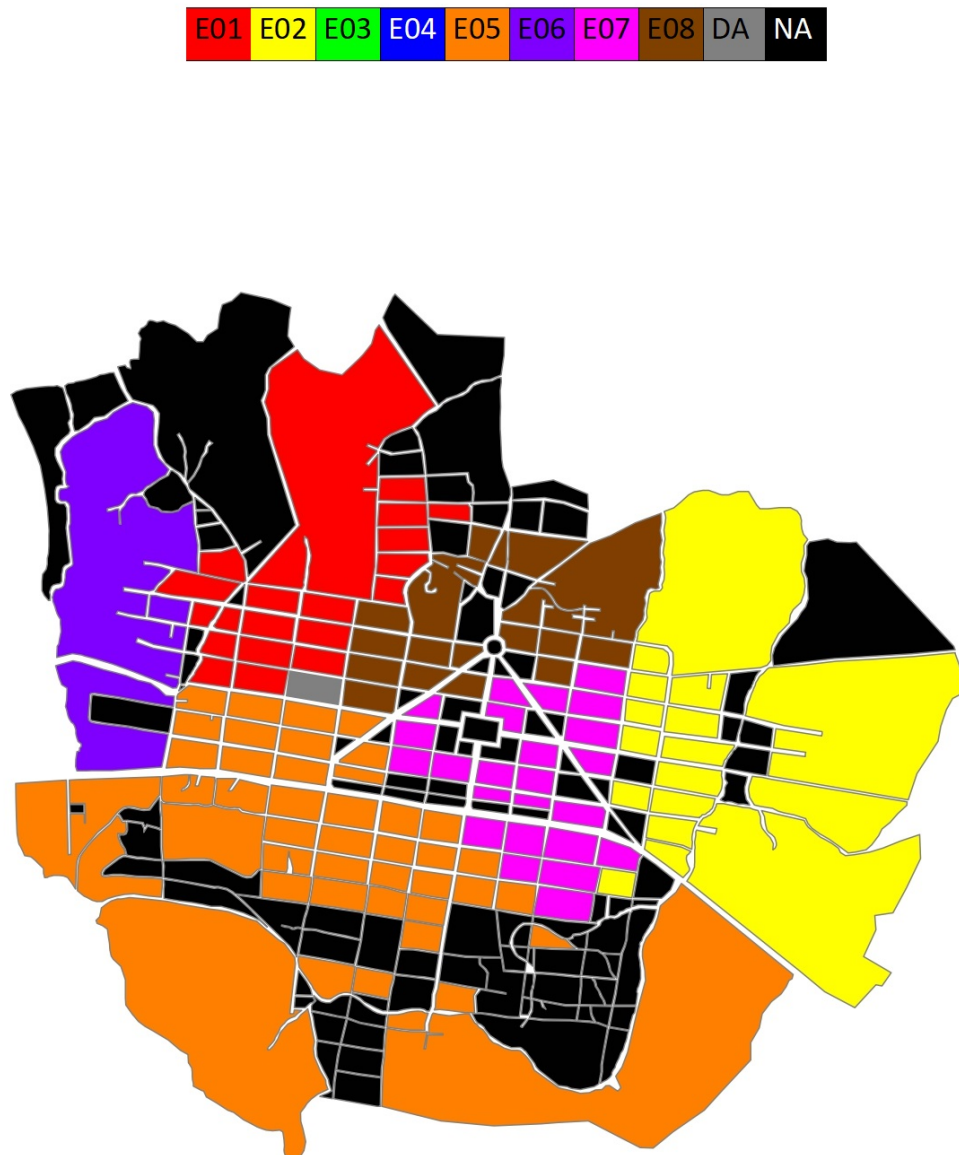


Figura 20: Escenario G: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación G de estudiantes de localidades rurales (g = 01)

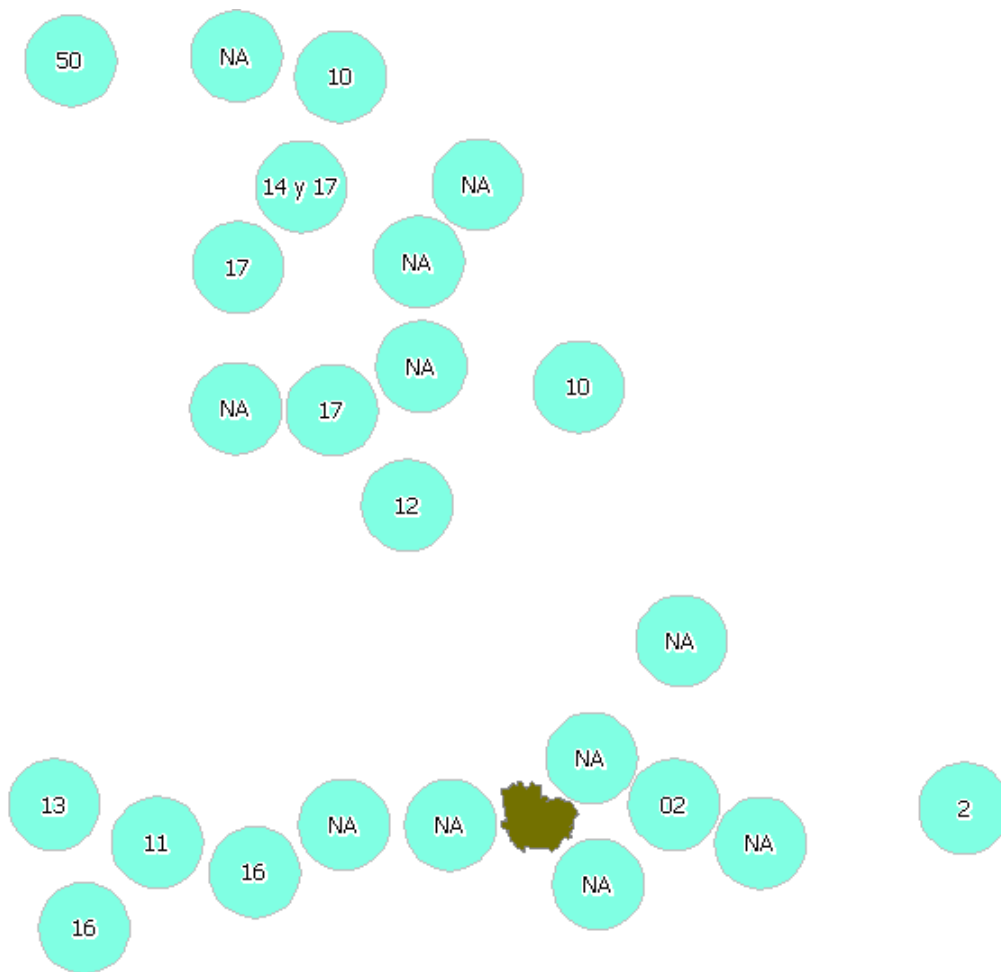


Figura 21: Escenario G: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.

## Asignación H de estudiantes de manzanas urbanas ( $g = 01$ )

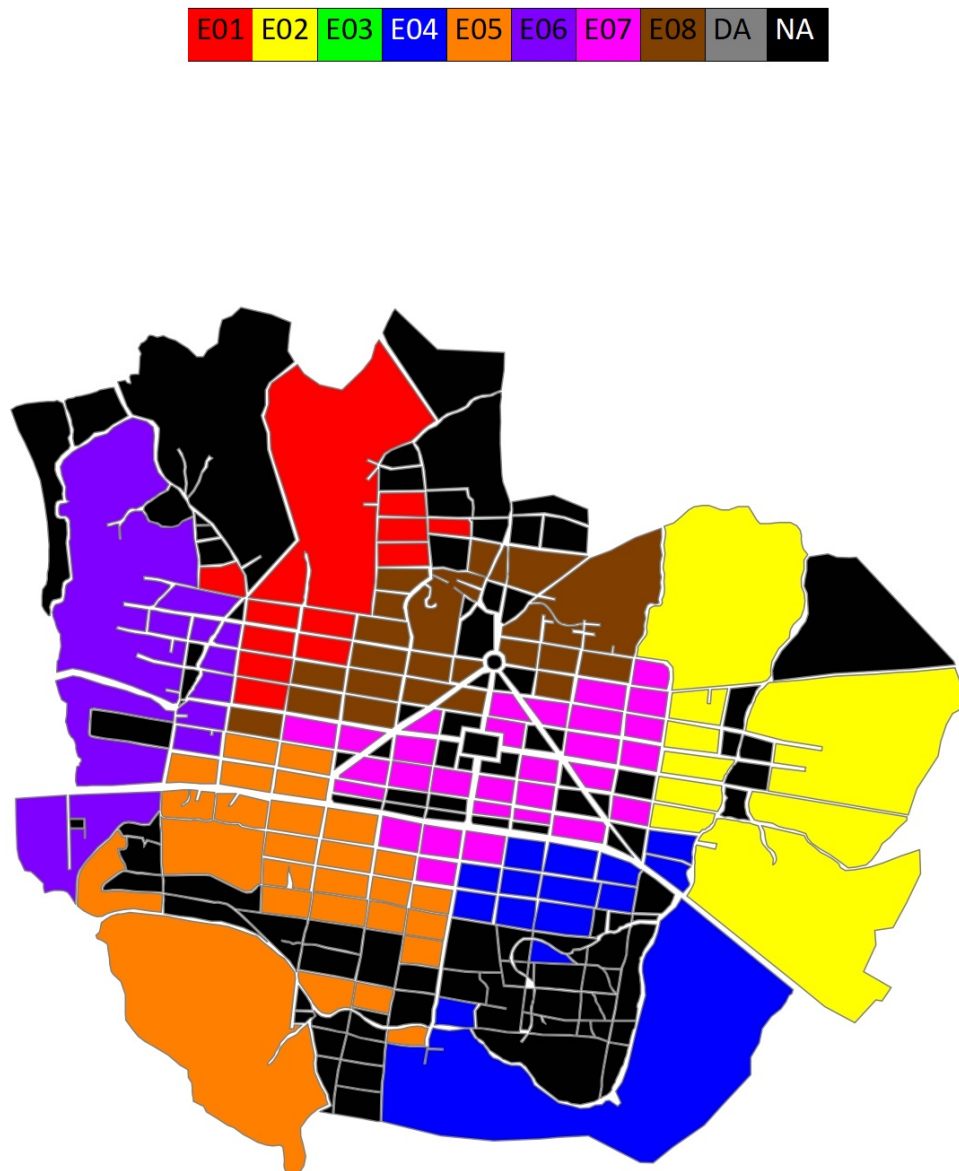


Figura 22: Escenario H: asignaciones de los estudiantes que habitan en los primeros 238 bloques (manzanas urbanas) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Se incluyen DA (doble asignación) y NA (no asignación).

### Asignación H de estudiantes de localidades rurales (g = 01)

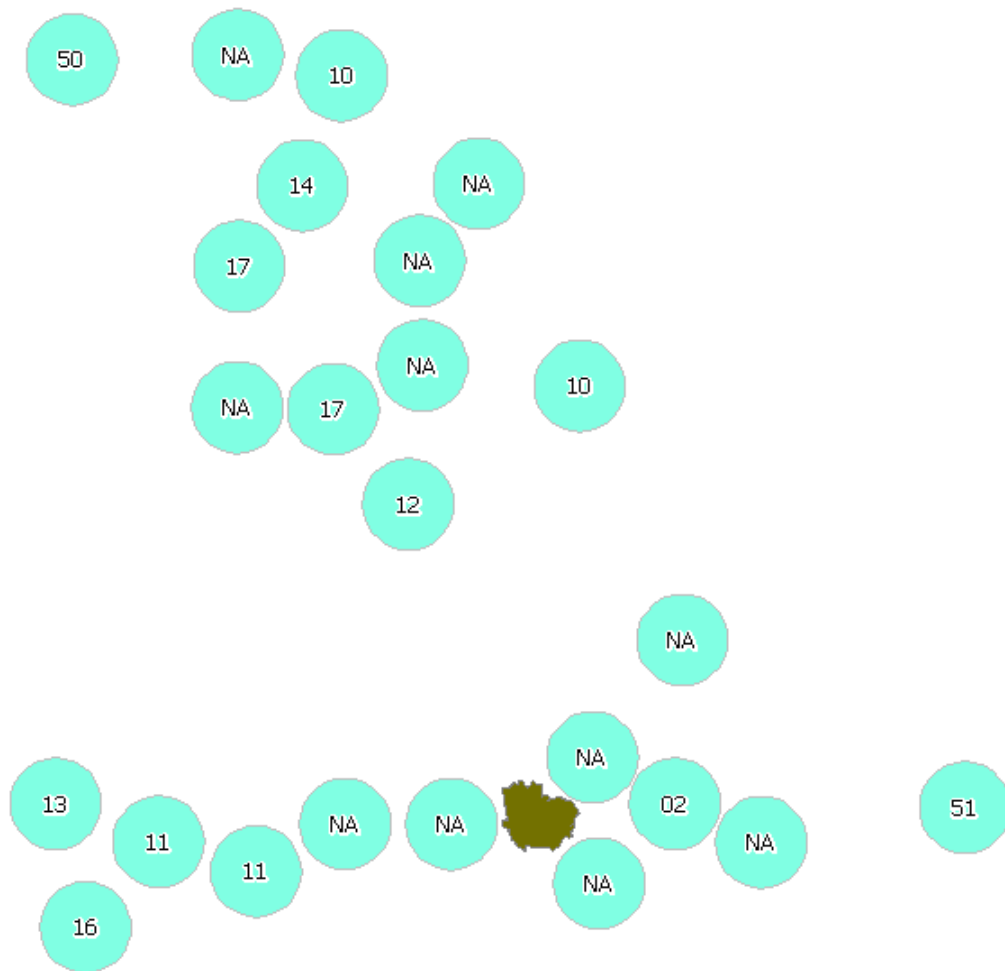


Figura 23: Escenario H: asignaciones de los estudiantes que habitan en los últimos 24 bloques (localidades rurales) a las escuelas que ofrecen el grado  $g = 01$ . Los círculos en color cian representan la ubicación de las localidades rurales respecto a la ubicación de la localidad urbana (en color oliva). En este mapa, la representación de las localidades rurales y la localidad urbana no es proporcional al tamaño real.

No debemos olvidar que todas las prescripciones mostradas en este capítulo son hechas por un software; de acuerdo a la naturaleza y prioridad de las funciones objetivo; y a las restricciones, datos y parámetros en el modelo de localización propuesto. Si la solución fuera requerida para implementarse, se debe estar abierto a la posibilidad de hacer cambios en la solución por parte del tomador de decisiones siempre que este así lo sugiera y/o requiera. Para cualquier problema, los softwares son herramientas poderosas que facilitan la solución y su comprensión, sin embargo nunca van a sustituir la autoridad del tomador de decisiones.

## CONCLUSIONES

Se logró el objetivo general establecido en esta tesis. Se propuso una metodología que permite establecer un sistema de escuelas públicas en una zona que se encuentre en condiciones lastimosas tal que se localizan y dimensionalizan las escuelas del sistema, se asignan los estudiantes a las escuelas que deben atender y se distrita la zona estudiada. El estudio de la metodología a través de una zona afectada por un desastre natural funcionó, tal que se prescribieron resultados lógicos y coherentes. Esta metodología pudiera establecerse como una herramienta que ayude al rediseño de sistema de escuelas públicas en cualquier zona que se encuentre en condiciones lastimosas.

Se tiene que aclarar que los resultados aquí presentados fueron con base en la metodología propuesta y a la zona que sirvió como objeto de estudio. Cada zona presenta sus propias particularidades, desde la distribución de su población hasta las carencias de servicios en sus escuelas, por lo que los resultados, al emplear la metodología en cada una de estas otras zonas pueden variar.

En principio puede ser que las soluciones presentadas con base en los últimos escenarios del modelo de localización propuesto sean difíciles de asimilar, pero se recuerda al lector que el modelo de localización propuesto se resolvió con el método de sumas ponderadas porque permite presentar una gama de soluciones al tomador de decisiones, y de esta manera éste puede elegir la solución que mejor le parezca con base en sus prioridades. Por ejemplo, supongamos que se decidiera implementar la metodología propuesta en la zona de estudio presentada; para un estudiante o para los padres de familia de los estudiantes, los últimos escenarios le parecerán bastante inconvenientes, sin embargo, la toma de decisiones recae-

ría en instituciones y el gobierno, que regularmente se encuentran restringidos por un presupuesto y, muy probablemente, seleccionarían estos últimos escenarios.

Antes de que el modelo de localización propuesto fuera resuelto, se percató de que no era necesario proponer escuelas candidatas nuevas para el nivel educativo primaria. Esto sugiere que, en este nivel educativo, el problema no recae en la cobertura por lo que es imposible que la metodología prescriba abrir nuevas escuelas de este nivel educativo.

Para todos los escenarios de cada nivel educativo siempre se prescribieron asignaciones de estudiantes a escuelas a una distancia mayor a la distancia crítica (aun cuando siempre se mantiene a la distancia de recorrido, o transmisión, como la función objetivo prioritaria). Esto sucede porque la distancia de recorrido no es la única función objetivo del modelo de localización propuesto y por la dispersión de la población en la zona de estudio. El número de estas asignaciones aumenta en los últimos escenarios. Es por ello por lo que, para estos estudiantes, se proponen 2 alternativas: diseñarles un modelo educativo semipresencial o establecer un transporte escolar.

Un modelo educativo semipresencial consistiría en que los estudiantes tengan clases menos días de manera que un mismo profesor pueda atender dos escuelas distintas (repartiendo los días de su jornada laboral) en dos bloques distintos. Aunque los alumnos quedan liberados de recorrer grandes distancias, el peso aquí recae en el profesor, que tendrá que moverse grandes distancias y, quizás, permanecer en un mismo bloque durante los días que tenga asignado laborar en dicho bloque (esto puede recompensársele, por ejemplo, con un salario mejor, lo que genera un costo que no se ha considerado hasta ahora).

Establecer un sistema de transporte, tal que mueva a los estudiantes desde sus casas hasta las escuelas asignadas que se encuentren a una distancia mayor a la crítica, permitiría que el tiempo de transporte disminuya y que estos estudiantes

eviten caminar grandes distancias. Esto también genera otros costos que no han sido considerados hasta ahora.

Un caso curioso de la asignación de estudiantes a escuelas muy alejadas se explica en este párrafo. A excepción del nivel educativo primaria, en todos los escenarios siempre se observa una distancia máxima de recorrido mayor, o igual, a 12 000 metros. Esto sucede no sólo por la dispersión de la población en la zona de estudio, sino también por el parámetro  $Mat\ Min$  relacionado a (3.22). El bloque 247 se encuentra alejado de los demás bloques, de tal manera que el bloque más cercano a él está a 12 000 metros, además este bloque apenas reúne 3 estudiantes por el nivel educativo preescolar, secundaria o medio superior por lo que no es suficiente para abrir ni una escuela de agrupamiento  $T$  (posible para el nivel educativo preescolar y el nivel educativo secundaria) ni, mucho menos, una escuela de agrupamiento  $U$  (único agrupamiento posible para el nivel educativo medio superior) debido a que el parámetro  $Mat\ Min$  (alumnos mínimos para abrir una escuela) para esta zona de estudio es 4. Estos 3 estudiantes, de cualquiera de los tres niveles educativos mencionados, están obligados a ser asignados a una escuela de otro bloque, o bien, que al menos, otro estudiante de otro bloque sea asignado a la escuela candidata del bloque 247. Esto sugiere que, además de las propuestas de diseñar un modelo educativo semipresencial o establecer transporte escolar, se puede, plantear la disminución del valor del parámetro  $Mat\ Min$ .

Para el nivel educativo preescolar y el nivel educativo primaria, el número de estudiantes asignados a una escuela a una distancia mayor a la distancia crítica se encuentra en un porcentaje bajo: entre 0.17 % y 2.57 % para los estudiantes del nivel educativo preescolar (en cualquier escenario) y entre 0.21 % y 2.98 % para los estudiantes del nivel educativo primaria (en cualquier escenario). En cambio, para el nivel educativo secundaria, sólo en 5 escenarios este número se mantiene abajo del 5 %. Para el nivel educativo medio superior, en todos los escenarios ese número se mantiene arriba del 5 % (entre 9.69 % y 15.67 %), esto se adjudica al hecho de que el único agrupamiento permisible para el nivel educativo medio su-



perior es  $U$ .

Respecto al exceso del número de alumnos, la situación actual siempre fue mejorada en 5 de los 8 escenarios (sin importar el escenario). Respecto al déficit del número de alumnos, la situación siempre fue mejorada en 6 de los 8 escenarios; sólo en el escenario  $A$  y  $B$ , en el nivel educativo preescolar, se prescribía una asignación de alumnos tal que el número de alumnos en déficit empeoraba la situación actual.

Para los niveles educativo primaria y el nivel educativo secundaria siempre se prescribió, sin importar el escenario, un sistema de escuelas tal que el costo de construcción, reconstrucción y operación de sanitarios y aulas era mejor respecto a sanear la situación actual (reconstruir las aulas y sanitarios dañados por el terremoto y seguir operando las escuelas como se hace actualmente).

En el caso del nivel educativo medio superior esos costos siempre resultan mayores, sin importar el escenario. Esto se adjudica al hecho de que actualmente sólo operan dos escuelas de nivel educativo medio superior y la metodología prescribe que operen, al menor, 4 escuelas de este nivel educativo (lo que implica un costo de construcción y operación).

En los resultados presentados, más de la mitad de las escuelas candidatas, son siempre prescritas, sin importar el escenario, con la misma indicación. Las escuelas  $E01$ ,  $E10$ ,  $E14$ ,  $E16$ ,  $E17$ ,  $E29$ ,  $E30$ ,  $E34$ ,  $E37$ ,  $E41$ ,  $E42$ ,  $E46$ , y  $E47$  siempre están prescritas a mantenerse en su estado actual. Las escuelas  $E07$ ,  $E18$ ,  $E19$ ,  $E24$ ,  $E33$ ,  $E38$ , y  $E49$  siempre están prescritas a reducir su tamaño a un mismo agrupamiento. Las escuelas  $E08$ ,  $E12$ , y  $E13$  siempre están prescritas a expandir su tamaño a un mismo agrupamiento. Las escuelas  $E50$ ,  $E56$ ,  $E58$ , y  $E62$  siempre están prescritas a abrir (estas escuelas actualmente no existen, pero siempre se prescribe a construir las). Las escuelas  $E20$ ,  $E21$ ,  $E39$ , y  $E48$  siempre están prescritas a cerrar. Las escuelas  $E50$ ,  $E60$ , y  $E61$  siempre están prescritas a no abrir

(estas escuelas actualmente no existen, fueron propuestas a ser construidas, sin embargo, siempre se prescribe no abrirlas).

En el nivel educativo preescolar, solo en un escenario se prescribe que todas las escuelas candidatas operen; no es de sorprender que esto sucede en el escenario *A* (cuando la distancia recorrida alcanza su máximo porcentaje de prioridad). Esta prescripción no ocurrió para los otros niveles educativos. Esto se atribuye a que la distancia crítica en el nivel educativo preescolar es menor que en los otros niveles educativos.

Para el nivel educativo primaria el número de escuelas prescritas a operar, sin importar el escenario, se encuentra en el rango de entre 16 y 18 escuelas; actualmente en la zona estudiada operan 20 escuelas de nivel primaria (según la metodología propuesta, es evidente que hay exceso de escuelas de este nivel educativo). Por el contrario, para el nivel educativo medio superior el número de escuelas prescritas a operar, sin importar el escenario, se encuentra en el rango de entre 4 y 5 escuelas; actualmente en la zona estudiada operan 2 escuelas de nivel educativo medio superior (según la metodología propuesta, es evidente que es necesario abrir más escuelas de este nivel educativo).

En cada escuela que se prescribe a operar con agrupamiento *U* el número de aulas entre los distintos grados escolares que ofrece esa escuela siempre se mantiene constante o varía en uno. La excepción son las escuelas *E24* y *E25*. Esto se adjudica a que estas dos escuelas se encuentran en el mismo bloque. Se aclara que no se trata de una misma escuela con dos turnos, se trata de dos escuelas distintas que operan en diferentes turnos y en el mismo edificio.

De hecho, la escuela *E25* es la única escuela en toda la zona que opera en turno vespertino (todas las demás operan en turno matutino). Al haber una única escuela en esta condición, se decidió no considerar esta característica en la metodología. Ningún escenario prescribe cerrar la escuela *E25*, pero de haberse prescrito se

persuadiría, a un posible tomador de decisiones, a no acatar esta prescripción porque es probable que esta escuela sea la única a la que algunos estudiantes puedan asistir (debido a diversos motivos, como la compatibilidad de horario de trabajo de sus padres).

Como trabajo futuro se propone hacer énfasis en la diferencia entre la educación ordinaria y la educación especial, a utilizar cálculos de población a futuro con base en los datos del próximo Censo de Población y Vivienda 2020, a incluir otras infraestructuras necesarias para que una escuela pueda operar, y a volver dinámico al modelo de localización propuesto.

En esta tesis nunca se diferenció a los estudiantes que necesitan educación ordinaria de los que necesitan educación especial. Esto quiere decir que existe la disponibilidad de cupo de un estudiante con necesidades especiales a cualquiera de las escuelas, lo que sugeriría la contratación de profesores de educación especial por escuela, o bien, dado que el número de estudiantes con necesidades especiales es mínimo, ofrecerles a estos estudiantes una educación especial semipresencial. Todo esto se vería reflejado en los costos.

El Censo de población y vivienda 2020 está a un año de realizarse, los resultados de hacer cálculos de población a futuro con estos datos serían más confiables pues son datos reales más actuales. Además, estos datos permitirían ampliar el horizonte temporal.

Las necesidades relacionadas a los costos monetarios y planteadas en el modelo de localización propuesto fueron las básicas: costos relacionados a la construcción y reconstrucción de aulas y sanitarios, y los costos relacionados a la docencia. Otras necesidades relacionadas a este tipo de costos podrían ser consideradas; como un laboratorio por escuela, un cierto número de computadoras necesarias en cada escuela, y la necesidad de personal como secretariado y conserjes dado cierto número de alumnos.

Aunque el modelo de localización propuesto en esta tesis satisface las necesidades de cupo durante el horizonte temporal establecido (porque se calculó con base en el último año del horizonte temporal que es cuando se observa una mayor población), un modelo de localización dinámico ayudaría a decidir cuando construir las escuelas y evitar construir las (o repararlas) antes del tiempo necesario.

## ANEXOS

### Anexo A

#### Encuesta

1. DATOS GENERALES						
NOMBRE DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA					CLAVE	
NIVEL EDUCATIVO QUE OFRECE (MARCAR CON ✓)					TURNO	
PREESCOLAR	PRIMARIA	SECUNDARIA	MEDIO SUPERIOR	SUPERIOR	OTRO (ESPECIFICAR)	FINANCIAMIENTO
SITUACIÓN DE LA INSTALACIÓN (MARCAR CON ✓)						
PROPIA		RENTADA		PRESTADA		COMPARTIDA (INDICAR EL TIPO DE INFRAESTRUCTURA CON LA QUE SE COMPARTE LA INSTALACIÓN)
CATEGORÍA (MARCAR CON ✓)				MUNICIPIO		
UNITARIA	INCOMPLETA (BIDOCENTE)	INCOMPLETA (TRIDOCENTE)	COMPLETA	LOCALIDAD		
NOMBRE DEL DIRECTOR				COLONIA		
				CALLE Y NÚMERO		
TELÉFONO (DIRECTOR)				TELÉFONO (ESCUELA)		CÓDIGO POSTAL

2. PERSONAL	
Si una misma persona tiene más de una plaza, cada una de estas plazas deberán ser distinguidas.	
NÚMERO TOTAL DE PERSONAS QUE LABORA EN LA INSTITUCIÓN (ESCRIBIR CON NÚMERO Y LETRA) <sup>1</sup>	
A continuación, desglosar el dato proporcionado en 1 (de acuerdo a las funciones del personal).	
DIRECTOR Y SUBDIRECTOR	
DOCENTES A CARGO DE GRUPOS	
PROFESORES DE TALLERES	
PSICÓLOGOS, TRABAJADORES SOCIALES Y ENFERMEROS	
BIBLIOTECARIOS	
SECRETARIOS	
CONSERJES, VELADORES Y JARDINEROS	
OTROS (ESPECIFICAR):	

### 3. INFRAESTRUCTURA

**NÚMERO TOTAL DE EDIFICACIONES (CUARTOS)<sup>2</sup> CON LOS QUE CUENTA LA INSTITUCIÓN**  
(ESCRIBIR CON NÚMERO Y LETRA)

NÚMERO DE AULAS DESTINADAS A LA ENSEÑANZA <sup>3</sup>	NÚMERO DE INSTALACIONES DEDICADAS A LA ADMINISTRACIÓN <sup>4</sup>	BAÑOS			OTRAS EN USO <sup>5</sup>	OTRAS EN DESUSO <sup>6</sup>
		H <sup>2</sup>	M <sup>2</sup>	MIXTO <sup>7</sup>		

La suma de los datos proporcionados en 3,4,5,6,7,8 y 9 deberá coincidir con el dato proporcionado en 2. A continuación, llenar cada fila por cada edificación. Deberán llenarse tantas filas como el dato proporcionado en 2.

#	TIPO DE USO USAR LAS CLAVES: A <u>aula</u> B <u>centro de cómputo</u> C <u>laboratorio</u> D <u>biblioteca</u> E <u>gimnasio</u> F <u>auditorio</u> G <u>administrativo</u> H <u>baños</u> I <u>sin uso</u> J <u>otro uso (especificar)</u>	MATERIAL QUE PREDOMINA EN LA EDIFICACIÓN	TECHO (MARCAR UNA ✓ SI LA INSTALACIÓN ESTÁ TECHADA)	POR CADA EDIFICACIÓN MARCAR UN ÚNICO CUADRO (CON UNA ✓), SEGÚN LAS CONDICIONES DE LA EDIFICACIÓN.				
				EN USO SIN DAÑOS	EN USO CON DAÑOS MENORES (ESPECIFICAR DAÑOS)	EN USO CON DAÑOS MEDIOS (ESPECIFICAR DAÑOS)	EN USO CON DAÑOS MAYORES (ESPECIFICAR DAÑOS)	EN DESUSO (ESPECIFICAR EL MOTIVO)
1								
2								
3								
4								
5								

6								
7								
8								
9								
10								
11								
12								
13								
14								
15								

16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								



26								
27								
28								
29								
30								
31								
32								
33								
34								
35								

36								
37								
38								
39								
40								
41								
42								
43								
44								
45								

4. ALUMNADO														
NÚMERO DE CLASES EN LA INSTITUCIÓN (ESCRIBIR CON NÚMERO Y LETRA) <sup>10</sup>								NÚMERO TOTAL DE ALUMNOS INSCRITOS EN LA INSTITUCIÓN (ESCRIBIR CON NÚMERO Y LETRA) <sup>11</sup>						
A continuación, llenar cada fila por cada clase (sin importar que sea monogrado o multigrado). Deberán ser llenadas tantas filas como el dato proporcionado en 10.														
La suma de los datos proporcionados en la columna 12 deberá coincidir con el dato proporcionado en 11.														
# DE CLASE	POR CADA CLASE MARCAR (CON UNA ✓) LOS GRADOS ATENDIDOS.						NÚMERO DE GRADOS DIFERENTES ATENDIDOS	POR CADA CLASE ESCRIBIR EL NÚMERO DE ALUMNOS ATENDIDOS.						NÚMERO TOTAL DE ALUMNOS ATENDIDOS <sup>12</sup>
	1°	2°	3°	4°	5°	6°		1°	2°	3°	4°	5°	6°	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														

Figura 24: Encuesta aplicada en cada una de las escuelas de la zona elegida como objeto de estudio.

## Anexo B

### Población de interés a futuro

Bloque	Localidad	<i>g</i> 01	<i>g</i> 02	<i>g</i> 03	<i>g</i> 04	<i>g</i> 05	<i>g</i> 06	<i>g</i> 07	<i>g</i> 08	<i>g</i> 09	<i>g</i> 10	<i>g</i> 11	<i>g</i> 12	<i>g</i> 13	<i>g</i> 14	<i>g</i> 15
001	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
002	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
003	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
004	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
005	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
006	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
007	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
008	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
009	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
010	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
011	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
012	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
013	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
014	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
015	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
016	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
017	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
018	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

019	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
020	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
021	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
022	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
023	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
024	Santa María Jalapa del Marqués	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3
025	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
026	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
027	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
028	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
029	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
030	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
031	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
032	Santa María Jalapa del Marqués	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
033	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
034	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
035	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
036	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
037	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
038	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

039	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
040	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
041	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
042	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
043	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
044	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
045	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
046	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
047	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
048	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
049	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
050	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
051	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
052	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
053	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
054	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
055	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
056	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
057	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
058	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

059	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1
060	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
061	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
062	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
063	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
064	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
065	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
066	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
067	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
068	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
069	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
070	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
071	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
072	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
073	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
074	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
075	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
076	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
077	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
078	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1

079	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
080	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
081	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
082	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
083	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
084	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
085	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
086	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
087	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
088	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
089	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
090	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
091	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
092	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
093	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	2
094	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
095	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
096	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
097	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
098	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0



099	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
101	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
102	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
103	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
104	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
105	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
106	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
107	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
108	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
109	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
110	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
111	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
112	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
113	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
114	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
115	Santa María Jalapa del Marqués	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
116	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
117	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
118	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0

119	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
120	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
121	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
122	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
123	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
124	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
125	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
127	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
129	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	Santa María Jalapa del Marqués	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
132	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
133	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
134	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
135	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
136	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1
137	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
138	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

139	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
140	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
141	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
142	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1
143	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
144	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
145	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
146	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
147	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
148	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
149	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
150	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
151	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
152	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
153	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
154	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
155	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
156	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
157	Santa María Jalapa del Marqués	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
158	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1

159	Santa María Jalapa del Marqués	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1
161	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
162	Santa María Jalapa del Marqués	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
163	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
164	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
165	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
166	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
167	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
168	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
169	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
170	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
171	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
172	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
173	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
174	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
175	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
176	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
177	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
178	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

179	Santa María Jalapa del Marqués	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
180	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
181	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
182	Santa María Jalapa del Marqués	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
183	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
184	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
185	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1
186	Santa María Jalapa del Marqués	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
187	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
188	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
189	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
190	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
191	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
192	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
193	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
194	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
195	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
196	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
197	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
198	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

199	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
201	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
202	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
203	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
204	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
205	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
206	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
207	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
208	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
209	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
210	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
211	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
212	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
213	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
214	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
215	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
216	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
217	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
218	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

219	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
220	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
221	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
222	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
223	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
224	Santa María Jalapa del Marqués	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
225	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
226	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
227	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
228	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
229	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
230	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
231	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
232	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
233	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
234	Santa María Jalapa del Marqués	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0
235	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
236	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
237	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
238	Santa María Jalapa del Marqués	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

239	Guadalupe Victoria	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3
240	Guichiquero	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
241	Llano Grande	11	9	9	10	11	10	10	12	13	12	11	10	10	10	10
242	Llano Vería	7	6	6	7	8	7	7	9	9	8	7	7	7	7	7
243	Magdalena Guelavence	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
244	El Reparó	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1
245	San Cristóbal	19	16	16	18	20	18	18	22	23	21	19	18	18	18	18
246	Colonia Presidente Juárez	4	3	3	4	4	4	4	5	5	4	4	4	4	4	4
247	Cerro del Chivo	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
248	Vishiñadu (El Palenque)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
249	Pochotillo	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
250	Peña San Juan	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
251	Solo Dios	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
252	Benito Juárez Chica	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
253	El Arenal	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
254	Campamento de la Victoria Quinta la Iguana)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
255	Santa Elena de la Cruz	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
256	El Tamarindo (Guiechiquero)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
257	El Tamarindo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
258	Granja del Ángel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
259	La Tejavana	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
260	Cerro del Marqués	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
261	Arroyo las Truchas	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
262	Loma Bonita	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0

Tabla 35: resultados del cálculo del # de estudiantes que habitarán en cada bloque durante el año 2025.

## Anexo C

### Factor de conversión

<i># de pareja</i>	<i>Bloque 1</i>	<i>Bloque 2</i>	<i>Distancia euclidiana [metro]</i>	<i>Distancia carretera [metro]</i>	<i>Razón</i>
--------------------	-----------------	-----------------	-------------------------------------	------------------------------------	--------------



001	195	039	1320	1800	0.7333 33
002	201	193	516.84	600	0.8614 00
003	177	111	701.55	1000	0.7015 50
004	121	173	1460	1700	0.8588 24
005	207	054	921.78	1100	0.8379 82
006	160	168	1200	1600	0.7500 00
007	058	093	615.58	800	0.7694 75
008	076	200	140.81	190	0.7411 05
009	050	208	1320	1400	0.9428 57
010	091	029	288.2	400	0.7205 00
011	223	191	108.29	240	0.4512 08
012	149	158	428.05	450	0.9512 22
013	064	120	762.2	1000	0.7622 00
014	020	084	1560	1900	0.8210 53
015	029	143	1330	1400	0.9500 00
016	153	143	1370	1700	0.8058 82
017	068	126	1470	2100	0.7000 00
018	077	175	812.96	1000	0.8129 60
019	128	082	1140	1400	0.8142 86
020	179	139	892.24	1000	0.8922 40
021	010	015	1140	1300	0.8769 23
022	124	103	859.33	1200	0.7161 08
023	135	156	1840	2100	0.8761 90
024	194	016	791.62	1300	0.6089 38
025	127	7	273.35	350	0.7810 00
026	118	180	473.76	600	0.7896 00
027	160	156	863.57	1100	0.7850 64
028	103	027	926.08	1300	0.7123 69
029	235	148	1080	1300	0.8307 69
030	142	042	783.27	950	0.8244 95
031	225	117	1680	1800	0.9333 33
032	041	154	1140	1400	0.8142 86
033	053	090	1360	1800	0.7555 56
034	045	134	198.04	230	0.8610 43
035	155	191	1160	1400	0.8285 71

036	095	062	993.55	1000	0.9935 50
037	055	211	530.8	650	0.8166 15
038	229	051	1280	1300	0.9846 15
039	191	221	476.74	650	0.7334 46
040	229	231	2090	2300	0.9086 96
041	166	045	623.96	750	0.8319 47
042	113	077	1580	2100	0.7523 81
043	039	143	1070	1300	0.8230 77
044	020	141	1670	1900	0.8789 47
045	062	213	746.02	950	0.7852 84
046	187	014	524.31	1300	0.4033 15
047	032	103	656.62	900	0.7295 78
048	038	143	696.6	850	0.8195 29
049	091	160	517.44	650	0.7960 62
050	028	073	241.02	350	0.6886 29
051	223	215	1140	1300	0.8769 23
052	201	178	1020	1200	0.8500 00
053	096	196	964.85	1400	0.6891 79
054	128	068	1760	2400	0.7333 33
055	090	124	709.66	1200	0.5913 83
056	229	029	1410	2000	0.7050 00
057	227	229	1320	1800	0.7333 33
058	086	124	714.51	1000	0.7145 10
059	202	058	298.73	350	0.8535 14
060	4	6	604.55	800	0.7556 88
061	134	238	112.95	300	0.3765 00
062	133	039	783.3	1100	0.7120 91
063	027	148	542.62	750	0.7234 93
064	143	074	591.48	800	0.7393 50
065	040	133	1310	1800	0.7277 78
066	100	2	1110	1400	0.7928 57
067	131	222	1620	2300	0.7043 48
068	075	121	1180	1500	0.7866 67
069	157	151	1020	1300	0.7846 15
070	105	167	556.66	1100	0.5060 55

071	083	153	665.36	850	0.7827 76
072	079	141	1150	1600	0.7187 50
073	109	075	931.45	1300	0.7165 00
074	207	108	771.23	1100	0.7011 18
075	084	078	760.32	1000	0.7603 20
076	082	172	1090	1500	0.7266 67
077	123	075	1370	1700	0.8058 82
078	220	233	1860	2200	0.8454 55
079	178	105	1540	2000	0.7700 00
080	077	228	1080	1400	0.7714 29
081	041	231	823.6	1000	0.8236 00
082	045	222	674.98	850	0.7940 94
083	058	086	589.45	800	0.7368 13
084	023	097	1580	1700	0.9294 12
085	237	173	1530	1700	0.9000 00
086	010	049	1220	1600	0.7625 00
087	217	9	880.42	1200	0.7336 83
088	174	219	1170	1500	0.7800 00
089	054	194	137.61	140	0.9829 29
090	104	131	777.29	1100	0.7066 27
091	116	212	636	850	0.7482 35
092	022	190	1320	2200	0.6000 00
093	189	191	857.23	1200	0.7143 58
094	037	022	2010	2500	0.8040 00
095	196	055	654	750	0.8720 00
096	074	065	634.21	650	0.9757 08
097	155	152	1330	1500	0.8866 67
098	3	155	1780	2000	0.8900 00
099	123	234	1840	2400	0.7666 67
100	024	108	1230	1500	0.8200 00

Tabla 36: Parejas de bloques que sirvieron para calcular el factor de conversión entre las distancia carretera y las distancia euclidiana. El factor de conversión resulto 0.7800 08.

## Anexo D

### Modelo de cobertura en Lingo

```

SETS:
BSinescuela/B1    B2    B3    B4    B5    B6    B7    B8    B9    B10    B11    B12    B13
    B14    B15    B16    B17    B18    B19    B20    B21    B22    B23    B24    B25    B26    B27
    B28    B29    B30    B31    B32    B33    B34    B35    B36    B37    B38    B39    B40    B41
    B42    B43    B44    B45    B46    B47    B48    B49    B50    B51    B52    B53    B54    B55
    B56    B57    B58    B59    B60    B61    B62    B63    B64    B65    B66    B67    B68    B69
    B70    B71    B72    B73    B74    B75    B76    B77    B78    B79    B80    B81    B82    B83
    B84    B85    B86    B87    B88    B89    B90    B91    B92    B93    B94    B95    B96    B97
    B98    B99    B100    B101    B102    B103    B104    B105    B106    B107    B108    B109    B110    B111
    B112    B113    B114    B115    B116    B117    B118    B119    B120    B121    B122    B123    B124    B125
    B126    B127    B128    B129    B130    B131    B132    B133    B134    B135    B136    B137    B138    B139
    B140    B141    B142    B143    B144    B145    B146    B147    B148    B149    B150    B151    B152    B153
    B154    B155    B156    B157    B158    B159    B160    B161    B162    B163    B164    B165    B166    B167
    B168    B169    B170    B171    B172    B173    B174    B175    B176    B177    B178    B179    B180    B181
    B182    B183    B184    B185    B186    B187    B188    B189    B190    B191    B192    B193    B194    B195
    B196    B197    B198    B199    B200    B201    B202    B203    B204    B205    B206    B207    B208    B209
    B210    B211    B212    B213    B214    B215    B216    B217    B218    B219    B220    B221    B222    B223
    B224    B225    B226    B227    B228    B229    B230    B231    B232    B233    B234    B235    B236    B237
    B238    B239    B240    B241    B242    B243    B244    B245    B246    B247    B248    B249    B250    B251    B252
    B253    B254    B255    B256    B257    B259    B260    B261    B262/:X;
BConestSinescuela/B18    B22    B44    B190    B239    B240    B241    B243    B244    B245    B246    B247    B248    B249    B250    B251    B252
    B249    B250    B252    B253/:Est;
PAREJA (BSinescuela,BConestSinescuela) :Cov,CosTra, Y;
ENDSETS

DATA:
CosTra= ... ;
Cov= ... ;
Est= ... ;
ENDDATA

@FOR (BConestSinescuela (a) :@SUM (BSinescuela (b) :Cov (b, a) *X (b)
) >=1;
);

@FOR (BSinescuela (k) :@BIN (X (k)
)
);

@FOR (BSinescuela (k) :@FOR (BConestSinescuela (j) :Y (k, j) <= (Cov (k, j) *X (k)
)
);

@FOR (BConestSinescuela (w) :@SUM (BSinescuela (q) :Y (q, w)
) =1;
);

@FOR (BSinescuela (k) :@FOR (BConestSinescuela (j) :@BIN (Y (k, j)
)
);

!MIN=@SUM (Sinescuela (c) :X (c)
);
@SUM (BSinescuela (c) :X (c)
) =7;

MIN=(1) * (@SUM (BSinescuela (c) : (CosTra (c, 1) *Est (1) *Y (c, 1)) + (CosTra (c, 2) *Est (2) *Y (c, 2)) +
(CosTra (c, 3) *Est (3) *Y (c, 3)) + (CosTra (c, 4) *Est (4) *Y (c, 4)) + (CosTra (c, 5) *Est (5) *Y (c, 5))
+ (CosTra (c, 6) *Est (6) *Y (c, 6)) + (CosTra (c, 7) *Est (7) *Y (c, 7)) + (CosTra (c, 8) *Est (8) *Y (c, 8)) +
(CosTra (c, 9) *Est (9) *Y (c, 9)) + (CosTra (c, 10) *Est (10) *Y (c, 10)) +
(CosTra (c, 11) *Est (11) *Y (c, 11)) + (CosTra (c, 12) *Est (12) *Y (c, 12)) + (CosTra (c, 13) *Est (13) *Y
(c, 13)) + (CosTra (c, 14) *Est (14) *Y (c, 14)) + (CosTra (c, 15) *Est (15) *Y (c, 15))
+ (CosTra (c, 16) *Est (16) *Y (c, 16))
)
);
;

```

Figura 25: El modelo de cobertura resuelto en Lingo para el nivel educativo medio superior.



secundaria.dat

75586 10858.95763 10202.75586 34458.95763 43702.75586 45602.75586  
31 ],[1456.992981 323.0244273 179.1178045 622.5029976 22430.81759 7594.023509 40894.02351 54794.02351 10630.81759 10394.02351 34230.81759 43894.02351 45794.02351  
32 ],[1366.495356 367.9614641 251.1721037 562.3071284 22429.59063 7603.739531 40903.73953 54803.73953 10629.59063 10403.73953 34229.59063 43903.73953 45803.73953  
33 ],[1703.754338 0 458.0626126 522.816569 22054.05098 7988.372451 41288.37245 55188.37245 10254.05098 10788.37245 33854.05098 44288.37245 46188.37245  
34 ],[1370.597159 961.1132303 503.1053764 1232.076604 23274.017 6756.547403 40056.5474 53956.5474 11474.017 9556.547403 35074.017 43056.5474 44956.5474  
35 ],[1278.119058 967.8930083 514.7664866 1200.10998 23268.78769 6756.554727 40056.55473 53956.55473 11468.78769 9556.554727 35068.78769 43056.55473 44956.55473  
36 ],[1762.534956 846.0505939 476.2137788 1270.235716 23121.90752 7120.017324 40420.01732 54320.01732 11321.90752 9920.017324 34921.90752 43420.01732 45320.01732  
37 ],[516.7149104 1445.334039 1118.857697 1372.287479 23665.97866 7095.204992 40395.20499 54295.20499 11865.97866 9895.204992 35465.97866 43395.20499 45295.20499  
38 ],[499.8383709 1297.797242 1011.42348 1189.042729 23436.03901 7245.425216 40545.42522 54445.42522 11636.03901 10045.42522 35236.03901 43545.42522 45445.42522  
39 ],[552.4285154 1164.725993 932.4674037 1010.825989 23211.85067 7417.85695 40717.85695 54617.85695 11411.85067 10217.85695 35011.85067 43717.85695 45617.85695  
40 ],[637.3638752 1096.541777 845.3315631 979.619047 23165.63873 7340.697997 40640.698 54540.698 11365.63873 10140.698 34965.63873 43640.698 45540.698  
41 ],[2068.901851 965.0798594 1386.150446 680.3033879 21380.8549 9120.787772 42420.78777 56320.78777 9580.854901 11920.78777 33180.8549 45420.78777 47320.78777  
42 ],[1062.799563 1010.007032 593.2469682 1144.292594 23271.58181 6820.535513 40120.53551 54020.53551 11471.58181 9620.535513 35071.58181 43120.53551 45020.53551  
43 ],[785.9479788 1295.218697 916.4696011 1320.900545 23564.85345 6819.915597 40119.9156 54019.9156 11764.85345 9619.915597 35364.85345 43119.9156 45019.9156  
44 ],[1173.65152 1675.349485 1234.596973 1804.415464 24136.27586 6253.194604 39553.1946 53453.1946 12336.27586 9053.194604 35936.27586 42553.1946 44453.1946  
45 ],[1231.707609 1346.084813 895.3349762 1533.631789 23741.65352 6316.657504 39616.6575 53516.6575 11941.65352 9116.657504 35541.65352 42616.6575 44516.6575  
46 ],[811.6025003 974.0007935 676.8902465 943.3686532 23092.47377 7203.050316 40503.05032 54403.05032 11292.47377 10003.05032 34892.47377 43503.05032 45403.05032  
47 ],[776.210249 1133.044687 785.089455 1135.60612 23332.3945 6998.234776 40298.23478 54198.23478 11532.3945 9798.234776 35132.3945 43298.23478 45198.23478  
48 ],[877.3341657 1081.738988 709.4643481 1129.446699 23303.23719 6926.107205 40226.10721 54126.10721 11503.23719 9726.107205 35103.23719 43226.10721 45126.10721  
49 ],[898.9865758 818.6227086 603.1679383 742.7129257 22841.97599 7424.74497 40724.74497 54624.74497 11041.97599 10224.74497 34641.97599 43724.74497 45624.74497  
50 ],[971.1073492 774.2474854 516.2892041 764.9236683 22844.95875 7341.248629 40641.24863 54541.24863 11044.95875 10141.24863 34644.95875 43641.24863 45541.24863  
51 ],[970.1715243 1040.970295 646.1340884 1131.612818 23282.46301 6869.694415 40169.69442 54069.69442 11482.46301 9669.694415 35082.46301 43169.69442 45069.69442  
52 ],[1073.615168 829.796122 450.0043271 945.6305333 23019.93988 7068.558722 40368.55872 54268.55872 11219.93988 9868.558722 34819.93988 43368.55872 45268.55872  
53 ],[694.592618 1340.437088 979.8580377 1331.102577 23592.75949 6908.259829 40208.25983 54108.25983 11792.75949 9708.259829 35392.75949 43208.25983 45108.25983  
54 ],[885.4330605 1253.120236 854.7523151 1318.188824 23541.86752 6731.006257 40031.00626 53931.00626 11741.86752 9531.006257 35341.86752 43031.00626 44931.00626  
55 ],[976.1812437 1221.489004 806.1145902 1323.102565 23527.43272 6658.316409 39958.31641 53858.31641 11727.43272 9458.316409 35327.43272 42958.31641 44858.31641  
56 ],[1069.503156 1191.140347 760.2427341 1330.489938 23512.65949 6599.460534 39899.46053 53799.46053 11712.65949 9399.460534 35312.65949 42899.46053 44799.46053  
57 ],[762.0990724 1688.727087 1303.056857 1688.601701 24053.44874 6802.803372 40102.80337 54002.80337 12253.44874 9602.803372 35853.44874 43102.80337 45002.80337  
58 ],[1117.364291 607.3430511 406.3572542 629.9862574 22643.08662 7473.710687 40773.71069 54673.71069 1117.364291 607.3430511 406.3572542 629.9862574 22643.08662 7473.710687 40773.71069 54673.71069

secundaria.dat

59 ],[1199.923424 503.8580406 435.9535938 479.2880678 22451.25767 7662.544517 40962.54452 54862.54452 10651.25767 10462.54452 34251.25767 43962.54452 45862.54452  
60 ],[1286.067868 435.7951444 503.2733291 343.8414794 22277.97566 7835.364435 41135.36443 55035.36443 10477.97566 10635.36443 34077.97566 44135.36443 46035.36443  
61 ],[1218.013861 520.8520498 576.754491 334.5509181 22313.60082 7861.677814 41161.67781 55061.67781 10513.60082 10661.67781 34113.60082 44161.67781 46061.67781  
62 ],[1049.943851 672.6977968 632.1665623 473.4270623 22514.6476 7757.453577 41057.45358 54957.45358 10714.6476 10557.45358 34314.6476 44057.45358 45957.45358  
63 ],[1086.726105 712.8009074 759.2920865 384.391995 22410.09447 7956.96167 41256.96167 55156.96167 10610.09447 10756.96167 34210.09447 44256.96167 46156.96167  
64 ],[1034.105473 800.3085314 843.0530598 436.8833029 22467.46239 8006.24039 41306.24039 55206.24039 10667.46239 10806.24039 34267.46239 44306.24039 46206.24039  
65 ],[1360.47333 711.1223236 935.2481754 196.0328048 22057.41758 8347.489238 41647.48924 55547.48924 10257.41758 11147.48924 33857.41758 44647.48924 46547.48924  
66 ],[1217.834927 691.3147124 832.4933394 258.6372461 22231.57117 8145.575413 41445.57541 55345.57541 10431.57117 10945.57541 34031.57117 44445.57541 46345.57541  
67 ],[1315.887173 798.8792227 1003.109256 286.4512247 22136.25953 8386.072475 41686.07247 55586.07247 10336.25953 11186.07247 33936.25953 44686.07247 46586.07247  
68 ],[1171.910733 783.0735998 912.210651 331.9894778 22296.07099 8194.442602 41494.4426 55394.4426 10496.07099 10994.4426 34096.07099 44494.4426 46394.4426  
69 ],[1299.802773 497.1991909 199.7894093 693.1281544 22618.30873 7415.87382 40715.87382 54615.87382 10818.30873 10215.87382 34418.30873 43715.87382 45615.87382  
70 ],[1393.512304 466.5796341 96.90995919 743.5345416 22620.98191 7403.746076 40703.74608 54603.74608 10820.98191 10203.74608 34420.98191 43703.74608 45603.74608  
71 ],[1482.664784 458.0626126 0 800.7394537 22634.04536 7401.41427 40701.41427 54601.41427 10 834.04536 10201.41427 34434.04536 43701.41427 45601.41427  
72 ],[1543.950432 310.1170238 147.9551759 691.2760787 22446.32734 7591.033272 40891.03327 54791.03327 10646.32734 10391.03327 34246.32734 43891.03327 45791.03327  
73 ],[1444.148402 260.2463729 354.5544538 447.4288614 22247.36423 7784.963301 41084.9633 54984.9633 10447.36423 10584.9633 34047.36423 44084.9633 45984.9633  
74 ],[876.0112074 1001.248664 1004.979401 622.9437722 22682.08179 8047.035995 41347.036 55247.036 10882.08179 10847.036 34482.08179 44347.036 46247.036  
75 ],[1025.855268 1125.966491 1213.94235 656.6708953 22616.39664 8383.995148 41683.99515 55583.99515 10816.39664 11183.99515 34416.39664 44683.99515 46583.99515  
76 ],[1481.06687 770.4882604 318.7690309 1100.990503 23039.79323 7016.540235 40316.54024 54216.54024 11239.79323 9816.540235 34839.79323 43316.54024 45216.54024  
77 ],[1572.284637 787.0440671 355.1925985 1153.138509 23062.88093 7036.46902 40336.46902 54236.46902 11262.88093 9836.46902 34862.88093 43336.46902 45236.46902  
78 ],[1116.543755 1372.03898 932.3249353 1517.925823 23752.68327 6388.583199 39688.5832 53588.5832 11952.68327 9188.583199 35552.68327 42688.5832 44588.5832  
79 ],[1593.665246 1558.073068 1101.708297 1829.826921 24046.26489 6082.301932 39382.30193 53282.30193 12246.26489 8882.301932 35846.26489 42382.30193 44282.30193  
80 ],[1907.322063 1227.499966 836.230014 1636.940954 23608.99113 6856.715323 40156.71532 54056.71532 11808.99113 9656.715323 35408.99113 43156.71532 45056.71532  
81 ],[643.4739918 1223.526828 1160.019095 873.5377046 23001.51905 8004.921827 41304.92183 55204.92183 11201.51905 10804.92183 34801.51905 44304.92183 46204.92183  
82 ],[1510.849863 1706.948019 1249.115942 1931.305944 24224.68947 5800 39100 53000 12424.68947 8600 36024.68947 42100 44000  
83 ],[1787.5943 707.4130323 392.7382612 1158.399675 22932.33522 7304.190912 40604.19091 54504.19091 11132.33522 10104.19091 34732.33522 43604.19091 45504.19091  
84 ],[795.5333902 1950.741839 1571.839506 1921.383376 24364.13199 6998.988434 40298.98843 54198.98843 12564.13199 9798.988434 36164.13199 43298.98843 45198.98843  
85 ],[1527.218395 194.451533 307.5011561 520.209292 22250.46315 7774.525812 41074.52581 54974.52581 10450.46315 10574.52581 34050.46315 44074.52581 45974.52581  
86 ],[1626.208442 100.2620712 472.9875804 427.8574475 22031.31893 7994.031675 41294.03168 55194.03168 10231.31893 10794.03168 33831.31893 44294.03168 46194.03168  
87 ],[1176.244054 981.8701736 542.4392762 1168.799609 23265.53096 6778.022369 40078.02237 53978.02237 1176.244054 981.8701736 542.4392762 1168.799609 23265.53096 6778.022369 40078.02237 53978.02237

secundaria.dat

02237 11465.53096 9578.022369 35065.53096 43078.02237 44978.02237  
88 ],[1197.609625 796.591818 373.1370016 985.332888 23021.41914 7017.926319 40317.92632 54217.92632  
92632 11221.41914 9817.926319 34821.41914 43317.92632 45217.92632  
89 ],[1243.712089 631.5385842 246.7251157 823.3121066 22801.22941 7235.153633 40535.15363 54435.15363  
11001.22941 10035.15363 34601.22941 43535.15363 45435.15363  
90 ],[1343.230461 607.9438884 172.4514851 867.8992273 22804.80817 7219.883353 40519.88335 54419.88335  
11004.80817 10019.88335 34604.80817 43519.88335 45419.88335  
91 ],[1429.662827 602.0068633 144.0789229 914.5333118 22816.20254 7216.715866 40516.71587 54416.71587  
11016.20254 10016.71587 34616.20254 43516.71587 45416.71587  
92 ],[1390.700913 773.555108 315.5585538 1063.15227 23034.82463 6996.886008 40296.88601 54196.88601  
11234.82463 9796.886008 34834.82463 43296.88601 45196.88601  
93 ],[1299.50559 778.0152925 329.2901164 1022.163221 23024.18726 7000.67236 40300.67236 54200.67236  
11224.18726 9800.67236 34824.18726 43300.67236 45200.67236  
94 ],[590.7964421 1238.685424 933.5366127 1163.926414 23395.94128 7159.133456 40459.13346 54359.13346  
11595.94128 9959.133456 35195.94128 43459.13346 45359.13346  
95 ],[606.3161506 1391.625119 1048.038065 1349.994763 23628.47819 6997.719094 40297.71909 54197.71909  
11828.47819 9797.719094 35428.47819 43297.71909 45197.71909  
96 ],[652.561044 1505.317428 1141.591969 1482.829403 23794.7335 6901.609942 40201.60994 54101.60994  
11994.7335 9701.609942 35594.7335 43201.60994 45101.60994  
97 ],[691.6470749 1584.830716 1211.120943 1571.728237 23906.7674 6855.359319 40155.35932 54055.35932  
12106.7674 9655.359319 35706.7674 43155.35932 45055.35932  
98 ],[682.7986345 1183.472055 857.8023632 1145.817954 23361.1448 7076.589551 40376.58955 54276.58955  
11561.1448 9876.589551 35161.1448 43376.58955 45276.58955  
99 ],[722.2176118 1034.364115 761.6982793 958.0976646 23127.40213 7269.081861 40569.08186 54469.08186  
11327.40213 10069.08186 34927.40213 43569.08186 45469.08186  
100 ],[723.2561042 980.6629296 797.8722744 811.6416454 22955.53763 7524.690465 40824.69047 54724.69047  
11155.53763 10324.69047 34755.53763 43824.69047 45724.69047  
101 ],[741.4408818 1475.959761 1095.093185 1485.215482 23785.95994 6791.174104 40091.1741 53991.1741  
11985.95994 9591.174104 35585.95994 43091.1741 44991.1741  
102 ],[833.1024759 1437.721245 1040.388579 1480.574829 23764.9871 6683.715981 39983.71598 53883.71598  
11964.9871 9483.715981 35564.9871 42983.71598 44883.71598  
103 ],[1657.805836 247.621743 644.1279151 302.3934463 21833.58257 8195.995456 41495.99546 55395.99546  
10033.58257 10995.99546 33633.58257 44495.99546 46395.99546  
104 ],[1732.732398 195.7215982 634.4181984 393.9728788 21821.49892 8204.547448 41504.54745 55404.54745  
10021.49892 11004.54745 33621.49892 44504.54745 46404.54745  
105 ],[1541.632927 201.0990177 494.9874057 342.540462 22042.45711 7989.222132 41289.22213 55189.22213  
10242.45711 10789.22213 33842.45711 44289.22213 46189.22213  
106 ],[426.01514 1400.412219 1278.263165 1086.885014 23284.2541 7928.555648 41228.55565 55128.55565  
11484.2541 10728.55565 35084.2541 44228.55565 46128.55565  
107 ],[983.5189898 892.6867874 931.4950459 504.2326707 22536.01819 8061.325979 41361.32598 55261.32598  
10736.01819 10861.32598 34336.01819 44361.32598 46261.32598  
108 ],[1272.485256 890.5128048 1076.069516 380.7451463 22226.71054 8428.465182 41728.46518 55628.46518  
10426.71054 11228.46518 34026.71054 44728.46518 46628.46518  
109 ],[1128.816285 877.005719 994.9997369 415.5889789 22371.46531 8246.908785 41546.90878 55446.90878  
10571.46531 11046.90878 34171.46531 44546.90878 46446.90878  
110 ],[1524.519279 436.9677512 746.5379368 91.38981185 21871.7047 8249.512067 41549.51207 55449.51207  
10071.7047 11049.51207 33671.7047 44549.51207 46449.51207  
111 ],[1769.000412 399.7963564 822.5941906 319.9207248 21608.69029 8426.432528 41726.43253 55626.43253  
9808.69029 11226.43253 33408.69029 44726.43253 46626.43253  
112 ],[1706.087371 446.8164838 841.6634374 243.1305936 21642.89591 8426.952147 41726.95215 55626.95215  
9842.89591 11226.95215 33442.89591 44726.95215 46626.95215  
113 ],[1625.053128 608.7262419 954.5694659 188.6625446 21710.27552 8510.897985 41810.89799 55710.89799  
9910.27552 11310.89799 33510.27552 44810.89799 46710.89799  
114 ],[1509.225778 761.4123308 1049.063337 251.4413078 21897.14453 8546.269283 41846.26928 55746.26928  
10097.14453 11346.26928 33697.14453 44846.26928 46746.26928  
115 ],[1882.076831 492.4529974 399.4669437 997.9675109 22598.19013 7658.003808 40958.00381 54858.00381  
10798.19013 10458.00381 34398.19013 43958.00381 45858.00381



secundaria.dat

116 ],[1517.505997 608.1662355 167.0068198 966.4697694 22833.00294 7225.226003 40525.226 54425.226 11033.00294 10025.226 34633.00294 43525.226 45425.226  
117 ],[1464.713713 953.4467199 498.7253787 1261.772541 23273.0404 6783.943836 40083.94384 53983.94384 11473.0404 9583.943836 35073.0404 43083.94384 44983.94384  
118 ],[869.4977305 926.9192449 898.2817023 600.7785206 22678.32285 7912.394317 41212.39432 55112.39432 10878.32285 10712.39432 34478.32285 44212.39432 46112.39432  
119 ],[245.9708472 1525.300094 1356.870155 1247.272434 23499.84464 7838.288008 41138.28801 55038.28801 11699.84464 10638.28801 35299.84464 44138.28801 46038.28801  
120 ],[289.7386839 1444.929693 1270.382664 1182.114052 23422.57386 7761.046281 41061.04628 54961.04628 11622.57386 10561.04628 35222.57386 44061.04628 45961.04628  
121 ],[350.4250429 1365.803928 1185.421013 1119.142494 23346.84388 7691.325183 40991.32518 54891.32518 11546.84388 10491.32518 35146.84388 43991.32518 45891.32518  
122 ],[412.2465077 1293.639603 1102.935556 1068.811521 23286.3529 7614.890019 40914.89002 54814.89002 11486.3529 10414.89002 35086.3529 43914.89002 45814.89002  
123 ],[475.032639 1230.827733 1018.020051 1041.756977 23253.6536 7507.556671 40807.55667 54707.55667 11453.6536 10307.55667 35053.6536 43807.55667 45707.55667  
124 ],[1275.565699 596.9116361 757.3746253 194.0963772 22166.33834 8108.590097 41408.5901 55308.5901 10366.33834 10908.5901 33966.33834 44408.5901 46308.5901  
125 ],[1354.269995 501.8729953 700.3388086 141.2729599 22085.22243 8102.798951 41402.79895 55302.79895 10285.22243 10902.79895 33885.22243 44402.79895 46302.79895  
126 ],[638.2985976 1661.272397 1297.501413 1625.03655 23983.3345 6946.868181 40246.86818 54146.86818 12183.3345 9746.868181 35783.3345 43246.86818 45146.86818  
127 ],[933.9009806 1420.732172 1006.178345 1499.779741 23771.20746 6564.770186 39864.77019 53764.77019 11971.20746 9364.770186 35571.20746 42864.77019 44764.77019  
128 ],[1019.758083 1396.176142 968.7965813 1506.725395 23761.61663 6475.496306 39775.49631 53675.49631 11961.61663 9275.496306 35561.61663 42775.49631 44675.49631  
129 ],[1186.898595 1164.84223 718.276881 1350.988849 23504.85658 6544.839482 39844.83948 53744.83948 11704.85658 9344.839482 35304.85658 42844.83948 44744.83948  
130 ],[1468.863241 864.2603464 1129.162952 345.3831418 22000.367 8600.829073 41900.82907 55800.82907 10200.367 11400.82907 33800.367 44900.82907 46800.82907  
131 ],[2178.398716 822.1681978 1274.568456 716.1137307 21000 9024.689469 42324.68947 56224.68947 9200 11824.68947 32800 45324.68947 47224.68947  
132 ],[1614.201276 164.8425605 293.2338138 599.2142648 22262.34651 7777.202264 41077.20226 54977.20226 10462.34651 10577.20226 34062.34651 44077.20226 45977.20226  
133 ],[792.4454703 916.8964987 713.2557625 791.4696144 22921.21916 7457.383348 40757.38335 54657.38335 11121.21916 10257.38335 34721.21916 43757.38335 45657.38335  
134 ],[897.8996491 940.9879094 607.3410024 965.5051758 23097.88728 7111.338188 40411.33819 54311.33819 11297.88728 9911.338188 34897.88728 43411.33819 45311.33819  
135 ],[1341.245375 369.7800819 446.3632733 369.9551515 22259.56121 7815.202368 41115.20237 55015.20237 10459.56121 10615.20237 34059.56121 44115.20237 46015.20237  
136 ],[1256.812754 450.1800393 371.2290546 497.9534862 22435.91459 7640.984937 40940.98494 54840.98494 10635.91459 10440.98494 34235.91459 43940.98494 45840.98494  
137 ],[982.6877044 751.4654516 706.6990575 511.535073 22572.2685 7781.896938 41081.89694 54981.89694 10772.2685 10581.89694 34372.2685 44081.89694 45981.89694  
138 ],[887.3700195 818.803303 689.3631718 644.9998443 22738.28386 7618.264229 40918.26423 54818.26423 10938.28386 10418.26423 34538.28386 43918.26423 45818.26423  
139 ],[1464.812957 313.3040826 559.0319854 246.1095442 22045.99206 8020.446588 41320.44659 55220.44659 10245.99206 10820.44659 33845.99206 44320.44659 46220.44659  
140 ],[790.8801902 922.6055212 797.3835792 705.4044434 22822.10005 7660.985162 40960.98516 54860.98516 11022.10005 10460.98516 34622.10005 43960.98516 45860.98516  
141 ],[1412.096087 619.0184525 867.6724096 100.3963027 21982.46263 8311.384372 41611.38437 55511.38437 10182.46263 11111.38437 33782.46263 44611.38437 46511.38437  
142 ],[1651.20739 498.8807199 181.9315934 928.4158229 22687.42339 7418.614501 40718.6145 54618.6145 10887.42339 10218.6145 34487.42339 43718.6145 45618.6145  
143 ],[1930.224539 666.3522539 475.0831742 1160.795282 22824.83748 7523.297447 40823.29745 54723.29745 11024.83748 10323.29745 34624.83748 43823.29745 45723.29745  
144 ],[745.6042625 1410.906342 1403.284348 990.3916263 23078.53997 8336.436064 41636.43606 55536.43606 1410.906342 1403.284348 990.3916263 23078.53997 8336.436064 41636.43606 55536.43606

secundaria.dat

```
43606 11278.53997 11136.43606 34878.53997 44636.43606 46536.43606
145 ],[521.3098365 1646.548213 1306.121556 1574.408096 23927.14546 7087.45041 40387.45041 54287.
45041 12127.14546 9887.45041 35727.14546 43387.45041 45287.45041
146 ],[3792.790223 2054.050981 2634.045364 1918.08511 20500 10024.68947 43324.68947 57224.6894
7 8800 12824.68947 32300 46324.68947 48224.68947
147 ],[23792.79022 22054.05098 22634.04536 21918.08511 0 30024.68947 63324.68947 77224.68947 15
700 32824.68947 12600 66324.68947 68224.68947
148 ],[7736.967137 7988.372451 7401.41427 8276.007866 30024.68947 0 33400 47700 18224.6894
7 2700 41824.68947 36400 38300
149 ],[41036.96714 41288.37245 40701.41427 41576.00787 63324.68947 33400 0 15900 51524.6894
7 32900 75124.68947 4600 6500
150 ],[54936.96714 55188.37245 54601.41427 55476.00787 77224.68947 47700 15900 0 65424.6894
7 47300 89024.68947 14100 9500
151 ],[11992.79022 10254.05098 10834.04536 10118.08511 15700 18224.68947 51524.68947 65424.6894
7 0 21024.68947 28100 54524.68947 56424.68947
152 ],[10536.96714 10788.37245 10201.41427 11076.00787 32824.68947 2700 32900 47300 21024.
68947 0 44624.68947 36000 37900
153 ],[46936.96714 47188.37245 46601.41427 47476.00787 69224.68947 39300 7400 8500 57424.
68947 38800 81024.68947 5700 1100
154 ],[35592.79022 33854.05098 34434.04536 33718.08511 12600 41824.68947 75124.68947 89024.6894
7 28100 44624.68947 0 78124.68947 80024.68947
155 ],[9636.967137 9888.372451 9301.41427 10176.00787 31924.68947 1800 32000 46300 20124.
68947 1400 43724.68947 35000 36900
156 ],[44036.96714 44288.37245 43701.41427 44576.00787 66324.68947 36400 4600 14100 54524.
68947 36000 78124.68947 0 4700
157 ],[45936.96714 46188.37245 45601.41427 46476.00787 68224.68947 38300 6500 9500 56424.
68947 37900 80024.68947 4700 0
158 ],[6136.967137 6388.372451 5801.41427 6676.007866 28424.68947 1900 35300 49600 16624.
68947 4500 40224.68947 38300 40200
159 ],[4792.790223 3054.050981 3634.045364 2918.08511 19600 11024.68947 44324.68947 58224.6894
7 8400 13824.68947 32000 47324.68947 49224.68947
160 ],[1575.855268 1675.966491 1763.94235 1206.670895 23166.39664 11574.68947 44874.68947 58774.
68947 11366.39664 14374.68947 34966.39664 47874.68947 49774.68947
161 ],[43336.96714 43588.37245 43001.41427 43876.00787 65624.68947 35700 3800 14800 53824.
68947 15100 77424.68947 1900 5400]];
162 CosRec=[250000,450000,650000,850000,1050000,1250000];
```

Figura 26: Archivo de datos del modelo de localización en IBM ILOG CPLEX Optimization Studio para el nivel educativo secundaria

## Bibliografía

- [1] Antunes A.& Peeters D. (2000). A dynamic optimization model for school network Planning. *Socio-Economic Planning Sciences*, 34, pp. 101-120.
- [2] Araya F., Dell R., Donoso P., Marianov V., Martínez F. & Weintraub A. (2012). Optimizing location and size of rural schools in Chile. *Intl. Trans. in Op. Res.*, 19 , pp. 695-710.
- [3] Bazaraa M. S., Jarvis J. J. & Sherali H. D . (2010). *Linear Programming and Network Flows*. Hoboken, Estados Unidos de América: John Wiley & Sons.
- [4] Caro F., Shirabe T., Guignard M. & Weintraub A. (2004). School redistricting: embedding GIS tools with integer programming. *Journal of the Operational Research Society*, 55, pp. 836-849.
- [5] Clarke S. & Surkis J. (1968). AN OPERATIONS RESEARCH APPROACH TO RACIAL DESEGREGATION OF SCHOOL SYSTEMS. *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 1, pp. 259-272.
- [6] Coello C. C. A., Van Veldhuizen D. A. & Lamont G. B. (2007). *Evolutionary Algorithms for Solving Multi-Objective Problems*. Estados Unidos de América: Springer.
- [7] Daskin M. S. (2013). *Network and Discrete Location*. Hoboken, Estados Unidos de América: John Wiley & Sons.
- [8] Drezner Z. & Hamacher H. W. (2002). *Facility Location (Applications and Theory)*. Alemania: Springer.
- [9] Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF]. (2015). *CONVENCIÓN SOBRE LOS DERECHOS DEL NIÑO*. Madrid, España: Rex Media SL.

- [10] Franklin A. D. & Koenigsberg E. (1973). Computed School Assignments in a Large District. *Operations Research* , 21 (2), pp. 413-426.
- [11] Gac I. Martinez F. & Weintraub A. (2006). Modelo De Optimización Lineal Determinístico Para La Localización De Colegios. *Revista Ingeniería de Sistemas*, XX, pp. 25-44.
- [12] Giesen R., Rocha E O. P. & Marianov V. (2015). Rural School Location and Student Allocation. En *Applications of Location Analysis*(pp. 273-289). Suiza: Springer.
- [13] Gurría A. (2016). PISA 2015 Resultados Clave. 2017, de Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos [OECD] Sitio web: <https://www.oecd.org/pisa/pisa-2015-results-in-focus-ESP.pdf>
- [14] Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI]. (2013). Censos económicos 2014 (Manual de Cartografía). Aguascalientes, México: Talleres gráficos del Instituto Nacional de Estadística y Geografía.
- [15] International Business Machines Corporation [IBM]. (2013). IBM ILOG CPLEX Optimization Studio documentation. 2019, de International Business Machines Corporation [IBM] Sitio web: [https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P\\_12.6.0/ilog.odms.cplex.help/CPLEX/Parameters/topics/EpGap.html](https://www.ibm.com/support/knowledgecenter/SSSA5P_12.6.0/ilog.odms.cplex.help/CPLEX/Parameters/topics/EpGap.html)
- [16] Jennergren L. P. & Obel B. (1980). A Study in the Use of Linear Programming for School Planning in Odense. *J. Opl Res. Soc.*, 31, pp. 791-799.
- [17] Krauss B., Jon Lee J. & Newman D. (2013). Optimizing the Assignment of Students to Classes in an Elementary School. *INFORMS Transactions on Education*, 14(1), pp. 39-44.
- [18] Lefkowitz B. & D'Esopo D. A. (1967). Analysis of Alternative Methods for Improving Racial Balance in a School District. *ORSA Meeting*, 31st.

- [19] LINDO Systems Inc. (2018). LINGO 17.0 Users Manual. Chicago, Estados Unidos de América: LINDO SYSTEMS INC.
- [20] Love R. F., Morris J. G. & Wesolowsky G. O. (1988). FACILITIES LOCATION (MODELS & METHODS). Madison, Estados Unidos de América: North-Holland.
- [21] Mandujano P., Giesen R. & Ferrer J. C. (2012). Model for Optimization of Locations of Schools and Student Transportation in Rural Areas. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2283, pp. 74-80.
- [22] Melkote S. & Daskin M. S. (2001). An integrated model of facility location and transportation network design. Transportation Research Part A, 35, pp. 515-538.
- [23] Molinero C. M. (1988). Schools in Southampton: A Quantitative Approach to School Location, Closure and Staffing. The Journal of the Operational Research Society, 39 (4), pp. 339-350.
- [24] OECD (2015), Education at a Glance 2015: OECD Indicators, OECD Publishing. <http://dx.doi.org/10.1787/eag-2015-en>
- [25] Pizzolato D. N., Broseghini B. F. & Nogueira L. L. A. (2004). School location methodology in urban areas of developing countries. Intl. Trans. in Op. Res., 11, pp. 667-681.
- [26] Pizzolato N. D. (1994). A heuristic for large-size-p-median location problems with application to school location. Annals of Operations Research, 50 , pp. 473-485.
- [27] Pizzolato N.D. & Da Silva H. B. F. (1997). The location of public schools: Evaluation of practical experiences. Int. Trans. Opl Res., 4 (1), pp. 13-22.
- [28] Plane D. R. & Hendrick T. E. (1977). Mathematical Programming and the Location of Fire Companies for the Denver Fire Department. Mathematical Pro-

- gramming and the Location of Fire Companies for the Denver Fire Department. *Operations Research*, 25 (4), pp. 563-578.
- [29] Ploughman T. & Darnton W. (1968). AN ASSIGNMENT PROGRAM TO ESTABLISH SCHOOL ATTENDANCE BOUNDARIES AND FORECAST CONSTRUCTION NEEDS. *Socio-Econ. Plan. Sci.*, 1, pp. 243-258.
- [30] Puente E. L. F. (2017). DECLARATORIA de Desastre Natural por la ocurrencia de sismo con magnitud 8.2 el 7 de septiembre de 2017, en 283 municipios del Estado de Oaxaca. 2018, de SECRETARIA DE GOBERNACIÓN Sitio web: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5497237&fecha=14/09/2017](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5497237&fecha=14/09/2017)
- [31] Puente E. L. F. (2017). DECLARATORIA de Emergencia Extraordinaria por la presencia de sismo magnitud 8.2 con epicentro en el Municipio de Pijijiapan en el Estado de Chiapas, el día 7 de septiembre de 2017, en 41 municipios del Estado de Oaxaca. 2018, de SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN Sitio web: [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5497539&fecha=18/09/2017](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5497539&fecha=18/09/2017)
- [32] Servicio Sismológico Nacional [SSN]. (2017). Reporte especial: Sismo de Tehuantepec (2017-09-07 23:49 Mw 8.2). 2018, de Universidad Nacional Autónoma de México [UNAM] Sitio web: [http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX\\_rep\\_esp\\_20170907\\_Tehuantepec\\_M82.pdf](http://www.ssn.unam.mx/sismicidad/reportes-especiales/2017/SSNMX_rep_esp_20170907_Tehuantepec_M82.pdf)
- [33] Taylor R. G., Vasu M. L. & Causby J. F. (1999). Integrated Planning for School and Community: The Case of Johnston County, North Carolina. *Interfaces*, 29 (1), pp. 67-89.
- [34] Teitz M.B. & Bart P. (1968). Heuristic methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph. *Operations Research*, 16, pp. 955–961.
- [35] Transport for London. (2010). *Measuring Public Transport Accessibility Levels*.
- [36] Wang H., He S. & Yao X. (2015). Nadir point estimation for many-objective optimization problems based on emphasized critical regions. *Soft Computing*, 21 (11), pp. 2283-2295.

- [37] Y. Ding, S. Gregov, O. Grodzevich, I. Halevy, Z. Kavazovic, O. Romanko, T. Seeman, R. Shioda & F. Youbissi. (2006). Normalization and Other Topics in MultiObjective Optimization. Proceedings of the Fields–MITACS Industrial Problems Workshop, 1, pp. 89-101.
- [38] Yao J. & Murray A. T. (2014). Serving regional demand in facility location. Papers in Regional Science, 93 (3), pp. 643-663.