

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE CIENCIAS

FORMULACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE MODELOS DE OPTIMIZACIÓN PARA EL PROBLEMA DE ENTREGA DE CUPOS A ESTUDIANTES DEL SISTEMA DE EDUCACIÓN PÚBLICA ECUATORIANO. CASO DEL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO (DMQ)

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN
CIENCIAS ECONÓMICAS Y FINANCIERAS**

KAREN ELIZABETH NOLIVOS PUCHA

karenolivos@yahoo.es

Directora: Dra. María Fernanda Salazar Montenegro

fernanda.salazar@epn.edu.ec

DICIEMBRE 2014

DECLARACIÓN

Yo Karen Elizabeth Nolivos Pucha, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

KAREN ELIZABETH NOLIVOS PUCHA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Karen Elizabeth Nolivos Pucha, bajo mi supervisión.

Dra. María Fernanda Salazar Montenegro
DIRECTORA

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida y por la bendición más grande, mi familia.

A mis padres, Lucy y Raúl por su inmenso amor, apoyo y dedicación. Han sido en todo momento mi fuente de inspiración y fortaleza en momentos de debilidad. Con su ejemplo han demostrado que todo esfuerzo tiene su recompensa y que la vida es un proceso de constante lucha. Siempre me han dicho que con amor y dedicación, todo sueño es posible verlo hecho realidad.

A mis hermanos, Diego y Lenin porque han llenado mi vida con alegrías y amor cuando más lo he necesitado. Adoro sus ocurrencias, sus bromas y sus juegos.

A mis amigos: Adrián, Bolívar, Alexandra, Andrea y Erika porque juntos compartimos momentos inolvidables que han hecho de mi vida universitaria, un grato y hermoso recuerdo de compañerismo y superación. De todo corazón les deseo éxitos en su vida profesional, un abrazo para todos.

A Luis, por su apoyo y amor. Es increíble que siempre tengas un refrán en tu mente, incluso más que mis abuelitas. Gracias loquillo por escucharme y aconsejarme, eres una gran persona con una increíble calidez humana.

A las Dras. María Fernanda Salazar y Sandra Gutiérrez por permitirme ser parte de su grupo de trabajo para el Proyecto de Investigación Semilla. Fue muy grato para mí trabajar en equipo con dos grandes docentes y personas como ustedes. Agradezco inmensamente su apoyo y paciencia en todo momento.

Estoy eternamente agradecida con todos.

DEDICATORIA

A mis padres, porque me han brindado su apoyo incondicional durante toda mi vida y que ahora vemos plasmado su esfuerzo y el mío en la consecución de una de mis metas. Sin su esfuerzo y tiempo dedicado a motivarnos, a mis hermanos y a mi, nada hubiera sido posible.

A Diego y Lenin, con mucho amor porque no hay nada mejor que compartir con mis hermanos el sentimiento y la satisfacción del deber cumplido, ustedes lo experimentarán también. Dieguito, estoy muy orgullosa de ti y estoy segura que serás un gran profesional, eres super pilas, aprovecha. Lenin, siempre ten presente que tus padres y hermanos te adoramos y nunca dejarás de ser nuestro oso bebé, todo lo que te decimos a diario es por tu entero bienestar y tengo la plena confianza de que sabrás escuchar.

Estoy muy orgullosa de tenerlos a mi lado, los amo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

LISTA DE FIGURAS	I
LISTA DE TABLAS	III
RESUMEN	VI
ABSTRACT	VII
1 INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	1
1.1 EDUCACIÓN, CRECIMIENTO Y DESARROLLO	4
1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA EDUCACIÓN ECUATORIANA .	11
1.3 NUEVO MODELO DE GESTIÓN DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN	12
1.3.1 DIVISIÓN DISTRITAL Y CIRCUITAL DEL DMQ	14
1.3.2 PROCESO DE ASIGNACIÓN DE CUPOS ESCOLARES EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS	18
1.3.3 SELECCIÓN CASO DE ESTUDIO	20
2 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES	23
2.1 PROBLEMA DEL FLUJO DE COSTO MÍNIMO	23
2.2 PROBLEMA DE TRANSPORTE	26
2.3 PROBLEMA DE ASIGNACIÓN	28
2.4 PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA	30
2.5 PROBLEMA DEL FLUJO MÁXIMO	32
2.6 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES PARA LA ASIGNA- CIÓN DE CUPOS ESCOLARES	34
2.6.1 MODELO DE BELFORD Y RATLIFF	34
2.6.2 MODELO DE McKEOWN y WORKMAN	37

2.6.3	MODELO DE ELIZONDO	38
3	DESARROLLO DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN	40
3.1	MODELOS DE FLUJO DE COSTO MÍNIMO PARA LA ASIGNACIÓN DE CUPOS EN EL DMQ	40
3.1.1	ESCENARIO 1	42
3.1.2	ESCENARIO 2	43
3.1.3	ESCENARIO 3	44
3.1.4	ESCENARIO 4	45
3.2	DATOS DE ENTRADA PARA LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN	47
3.2.1	CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA Y OFERTA EDUCATIVA	48
3.2.1.1	Distrito 2	49
3.2.1.2	Distrito 3	50
3.2.1.3	Distrito 4	52
3.2.1.4	Distrito 5	53
3.2.1.5	Distrito 6	55
3.2.1.6	Distrito 7	56
3.2.1.7	Distrito 8	58
3.2.1.8	Distrito 9	59
3.2.1.9	Relación Demanda - Oferta educativa del DMQ . .	61
3.2.2	CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS	64
3.2.2.1	Distancias entre circuitos	64
3.2.2.2	Distancias entre parroquias	65
3.2.3	CÁLCULO DEL VALOR DE PREFERENCIA DE LOS ESTUDIANTES	67
3.3	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO	68
3.3.1	TAMAÑO DE LOS ESCENARIOS	69
4	RESULTADOS NUMÉRICOS	73
4.1	ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 1	74
4.2	ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 2	75

4.3 ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 3	77
4.4 ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 4	80
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	87
5.1 CONCLUSIONES	87
5.2 RECOMENDACIONES	89
Bibliografía	91
ANEXOS	94
A. PROGRAMAS UTILIZADOS	95
A.1 SCIP 1.2	95
A.2 MCF-1.3	96
B. ARCHIVOS DE ENTRADA	99
B.1 OFERTA Y DEMANDA EDUCATIVA POR CIRCUITO	99
B.2 OFERTA EDUCATIVA POR INSTITUCIÓN	102
B.3 DISTANCIAS ESTIMADAS PARA CADA DISTRITO	110

LISTA DE FIGURAS

1.1	Índice de Desarrollo Humano: Tendencias 1980 - 2011.	10
1.2	Gasto en Educación (% del PIB): Tendencias 2000 - 2011	11
1.3	Distritos y circuitos del DMQ.	17
2.1	Representación del modelo del flujo de costo mínimo con nodos y arcos.	24
2.2	Representación del modelo de transporte con nodos y arcos. . . .	26
2.3	Representación del modelo de asignación con nodos y arcos. . . .	28
2.4	Representación del modelo de la ruta más corta con nodos y arcos.	31
2.5	Representación del modelo del flujo máximo con nodos y arcos. .	32
2.6	Red para el problema de balance racial en escuelas.	35
3.1	Red para el problema de asignación de cupos para octavo año de EGB en el DMQ.	41
3.2	Distrito 2: colegios que ofertan octavo año de EGB.	50
3.3	Distrito 3: colegios que ofertan octavo año de EGB.	52
3.4	Distrito 4: colegios que ofertan octavo año de EGB.	53
3.5	Distrito 5: colegios que ofertan octavo año de EGB.	55
3.6	Distrito 6: colegios que ofertan octavo año de EGB.	56
3.7	Distrito 7: colegios que ofertan octavo año de EGB.	57
3.8	Distrito 8: colegios que ofertan octavo año de EGB.	59
3.9	Distrito 9: colegios que ofertan octavo año de EGB.	60
3.10	Demanda estimada para octavo año de EGB del DMQ.	62
3.11	Oferta estimada para octavo año de EGB en el DMQ.	63
3.12	División circuital del Distrito 8 del DMQ.	65
3.13	ARCGIS 10.	67

3.14 Diagrama de desarrollo y solución del problema.	69
4.1 Escenario 1: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias originales, por circuito.	75
4.2 Escenario 2: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias originales, por circuito.	77
4.3 Escenario 3: Asignación de cupos por distrito, circuito y parroquia.	80
4.4 Escenario 4: Asignación de cupos general en el DMQ por preferencias y rendimiento académico, por circuito.	82
4.5 Escenario 4b: Asignación de cupos general en el DMQ por movilidad y preferencia.	84
4.6 Escenario 4b: Asignación de cupos general en el DMQ por movilidad y preferencia, por circuitos	85
1 SCIP 1.2.0.	96
2 MCF-1.3	97

LISTA DE TABLAS

1.1	Indicadores de Desarrollo Humano de países sudamericanos.	9
1.2	Reorganización Territorial.	14
1.3	Distribución de distritos y circuitos del DMQ.	16
3.1	Distrito 2: demanda estimada para octavo año de EGB.	50
3.2	Distrito 3: demanda estimada para octavo año de EGB.	51
3.3	Distrito 4: demanda estimada para octavo año de EGB.	53
3.4	Distrito 5: demanda estimada para octavo año de EGB.	54
3.5	Distrito 6: demanda estimada para octavo año de EGB.	56
3.6	Distrito 7: demanda estimada para octavo año de EGB.	57
3.7	Distrito 8: demanda estimada para octavo año de EGB.	58
3.8	Distrito 9: demanda estimada para octavo año de EGB.	60
3.9	Oferta y demanda educativa estimadas por distrito en el DMQ.	63
3.10	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 8.	65
3.11	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias del distrito 8.	66
3.12	Dimensión del problema de optimización resuelto para cada distrito.	72
4.1	Escenario 1: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias originales, por distrito.	74
4.2	Escenario 2: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias penalizadas, por distrito.	76
4.3	Escenario 3: Asignación de cupos por distritos.	78
4.4	Escenario 3: Asignación de cupos por distritos.	79
4.5	Escenario 4a: Asignación de cupos general en el DMQ por prefe- rencias y rendimiento académico, por distrito.	81

4.6	Asignación de cupos por preferencias: Escenarios 1 y 4(a).	83
4.7	Escenario 4b: Asignación de cupos general en el DMQ por movilidad y preferencia, por distrito.	85
4.8	Asignación de cupos por preferencias: Escenarios 1 y 4(b).	86
1	Oferta y demanda educativa por circuitos, estimadas para octavo año de EGB en el DMQ.	100
2	Oferta y demanda educativa por parroquias, estimadas para octavo año de EGB en el DMQ.	102
3	Instituciones educativas del DMQ que ofertan octavo año de EGB.	110
4	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 2. . . .	111
5	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 3. . . .	111
6	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 4. . . .	111
7	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 5. . . .	112
8	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 6. . . .	112
9	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 7. . . .	112
10	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 8. . . .	113
11	Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 9. . . .	113
12	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2 y 3.	114
13	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2, 3, 4 y 5.	115
14	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2, 3, 6 y 7.	116
15	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2, 3, 8 y 9.	117
16	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 4 y 5.	118
17	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 4, 5, 6 y 7.	119

18	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 4, 5, 8 y 9.	120
19	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 6 y 7.	121
20	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 6, 7, 8 y 9.	122
21	Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 8 y 9.	123
22	Distancias estimadas en [km] entre parroquias del DMQ.	124

RESUMEN

A partir del año 2008, el Gobierno Ecuatoriano estableció como política la distribución de más y mejores servicios públicos a toda la ciudadanía mediante la desconcentración y descentralización del Estado. Con la desconcentración, el Estado trasladó los servicios que ofrece un Ministerio (salud, educación y seguridad especialmente) hacia sus dependencias a nivel zonal, provincial, distrital o circunscriptiva. Con esta nueva planificación territorial, las personas deben recibir todos estos servicios en su territorio de residencia.

Por esta razón, el Ministerio de Educación estableció en su Nuevo Modelo de Gestión la asignación directa de los estudiantes a los colegios ubicados en sus respectivos circuitos educativos, los estudiantes ya no eligen las instituciones a las cuales desean asistir.

El presente proyecto de titulación aprovecha el cambio implementado en el Ministerio de Educación para tratarlo como un problema de optimización cuya solución ideal se resume en alcanzar un proceso basado en modelos de flujo de costo mínimo que permitan automatizar la asignación de cupos a estudiantes que ingresan a octavo año de Educación General Básica (EGB) en instituciones educativas públicas del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ), de acuerdo a las políticas vigentes. En un primer escenario los resultados indican que la solución óptima para 31.572 estudiantes se encuentra en menos de 2 minutos.

Palabras clave: Desconcentración y descentralización del Estado, oferta y demanda educativa, modelos de flujo de costo mínimo.

ABSTRACT

Beginning in 2008, the Ecuadorian government established a policy of distributing more and better public services to all citizens through deconcentration and decentralization. With deconcentration State moved the services offered by a Ministry (health, education and security especially) to their dependencies zonal, provincial, district or circuit level. With this new territorial planning, people must receive all services in its territory of residence.

For this reason, the Ministry of Education established in its New Management Model direct assignment of students to schools located in their respective educational circuits, students do not choose to the institutions to which they wish to attend.

So, this project degree approaches the change implemented in the Ministry of Education to treat as an optimization problem whose ideal solution is summarized in achieving a model-based flow minimum cost process to automate the allocation of quotas to students entering eighth year of General Basic Education (EGB) in public educational institutions of the Metropolitan District of Quito (DMQ), according to existing policies. In a first stage the results indicate that the optimal solution for 31.572 students in less than 2 minutes.

Keywords: Deconcentration and decentralization of government, educational supply and demand, flow models minimum cost.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Actualmente, en el Distrito Metropolitano de Quito existen aproximadamente dos mil setecientos centros educativos que imparten educación escolarizada a alrededor de seiscientos mil estudiantes matriculados. Más de la mitad de ellos forman parte del sistema de educación pública, que con mil cien instituciones ofertan educación inicial, básica y bachillerato, completamente laicas, gratuitas y reglamentadas por el Ministerio de Educación, así lo señala la Constitución de la República del Ecuador aprobada en el año 2008 [7], que además garantiza la educación como un derecho humano fundamental e indispensable para el conocimiento, el ejercicio de los demás derechos, la construcción de un país soberano y un eje estratégico para el desarrollo nacional¹.

Adicionalmente la actual Constitución, incluye en su Art. 276 el concepto de *sumak kawsay* traducido como Buen Vivir, el cual implica "mejorar la calidad de vida de la población, desarrollar sus capacidades y potencialidades; contar con un sistema económico que promueva la igualdad a través de la redistribución social y territorial de los beneficios del desarrollo; impulsar la participación efectiva de la ciudadanía en soberanía nacional, promover la integración latinoamericana; y proteger y promover la diversidad cultural". Una consecuencia directa de este artículo ha sido una nueva planificación territorial, en la cual se considera una división territorial a nivel nacional en zonas, distritos y circuitos. De acuerdo con esta nueva planificación, las personas deben recibir todos los servicios básicos lo más cercano posible a su lugar de residencia. En principio, el proceso involucra a

¹Ver Art. 27 de la Constitución del Ecuador

seis ministerios como: salud, educación, seguridad, justicia, gestión de riesgos e inclusión económica y social, con el propósito de avalar la distribución y provisión de bienes y servicios públicos de calidad para la ciudadanía, priorizando la cercanía.

Por su parte, el Ministerio de Educación mediante su nuevo modelo de gestión promueve el alcance a servicios educativos en lugares centrales y cercanos; esta es la razón por la que, en los dos últimos años se han venido estableciendo criterios de cercanía y rendimiento académico para la selección de estudiantes nuevos en los niveles básico (octavo año) y bachillerato (primer año) en los planteles públicos. Sin embargo, la implementación de este nuevo proceso, se ha desarrollado con desórdenes ya sean de carácter técnico u operativo que causan malestar en la ciudadanía.

Las principales razones que generan tal malestar. En primer lugar, son ciertas instituciones educativas públicas del Distrito Metropolitano de Quito, las que conservan un valor preferencial por padres de familia a la hora de conseguir cupos escolares para sus hijos, pues acuden principalmente a aquellas escuelas y colegios emblemáticos que por sus años de trayectoria y tradición son centros reconocidos y por ende objeto de mayor demanda. Gran parte de estas instituciones se encuentran concentradas en determinadas zonas de la capital, convirtiéndose en un gran problema para las familias y autoridades educativas al momento de acatar el proceso de descentralización. En segundo lugar, la oferta educativa del Distrito Metropolitano de Quito se caracteriza por ser heterogénea, se distinguen tres grupos de colegios: públicos (fiscales y municipales), fiscomisionales y particulares, que se diferencian no solo por su modo de financiamiento sino también por su nivel académico e infraestructura. Finalmente los estudiantes no eligen directamente el centro educativo público al cual quieren asistir, sino que esta asignación se realiza de manera directa desde la Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

En ese sentido, el presente proyecto de titulación, pretende abarcar el proceso de distribución de cupos escolares en el sistema público ecuatoriano como un problema de optimización cuya solución ideal se resume en alcanzar un proceso basado en modelos técnicos y científicos que permitan automatizar la asignación de los mismos de acuerdo a las políticas vigentes.

De manera muy general, el sector público ha sido un terreno fértil para la aplicación de técnicas de optimización. Específicamente, en el sector educativo, surgen muchos problemas cuya toma de decisiones pueden ser asistidas por modelos de programación matemática, como por ejemplo modelos de flujo de costo mínimo, asignación, localización de facilidades, entre otros. Los problemas típicos que han sido resueltos con herramientas de optimización han sido la elaboración de horarios, tanto de alumnos como de profesores, la localización de establecimientos educativos para satisfacer la demanda de la población, entre otros. En América Latina, se han realizado varios estudios referentes a la localización y número adecuado de escuelas utilizando modelos de p -medias y de máxima cobertura, entre los cuales podemos citar a los trabajos realizados en Brazil por Pizzolato y Fraga (1997) y Pizzolato, Broseghini y Nogueira (2004). Por otro lado, en Chile, el estudio realizado por Gac, Martnez y Weintraub (2009), en el cual se toma en cuenta en la función objetivo el beneficio social del sistema educativo, al asignar diferentes tipos de escuelas a zonas y simultáneamente asignar estudiantes clasificados por categoría socioeconómica.

En la literatura, una de las primeras aplicaciones para asignar estudiantes a escuelas respetando criterios de balance racial, fue realizada por Belford y Ratliff (1972) [5], utilizando técnicas de modelos de flujos de costo mínimo. Posteriormente han surgido otros estudios para asignar estudiantes a escuelas, como por ejemplo los realizados por McKeown y Workman (1976) [21] y Elizondo (1993) [12], en el primer trabajo se desea minimizar la distancia total de transporte de los estudiantes a sus escuelas, el cual fue analizado agrupando estudiantes de acuerdo a su ubicación geográfica y utilizando únicamente las escuelas ya

existentes bajo el enfoque de k-centros. En el segundo, se analiza el caso del Distrito Escolar Independiente de Houston y se realiza la asignación individual de estudiantes, minimizando la distancia total recorrida y se enfoca en la evaluación de heurísticas computacionales para resolver el problema de asignación a gran escala.

Es fundamental mencionar que en Ecuador no se han realizado estudios técnicos que permitan disponer de un proceso automatizado y replicable que brinde mejores resultados en la asignación de cupos escolares. A pesar de que en estos dos últimos años el proceso de asignación de cupos a centros educativos públicos se ha tornado un problema de dominio público y de gran importancia a nivel nacional.

Considerando que la educación es una de las áreas que requiere mayor atención y constante mejora en un país, por su aporte en igualdad social y repercusión positiva sobre el crecimiento económico a largo plazo. Es importante para nuestro país contar con estudios técnicos como instrumentos de apoyo y toma de decisiones, para emprender proyectos de cambio a favor del sector educativo.

1.1 EDUCACIÓN, CRECIMIENTO Y DESARROLLO

Una definición simple de crecimiento económico es la que Kustnetz [11] señala como un incremento sostenido del producto per cápita o por trabajador refiriéndose al aumento del valor de los bienes y servicios producidos por una economía durante un determinado período de tiempo; en este sentido estudios relevantes sobre la relación existente entre educación y crecimiento [27], [3], afirman que la inversión en educación y formación de la población repercutirá positivamente sobre la productividad, salarios y en última instancia sobre el crecimiento del producto nacional.

La educación es un eje fundamental de crecimiento y desarrollo económico de una sociedad, en la medida que posibilita a niveles macro, que los países alcancen mayores índices de productividad, innovación, crecimiento económi-

co a través de la generación de nuevas tecnologías, procesos de producción y productos que implican mayor competencia e inserción comercial en el mercado mundial y la reducción de cierta manera de los niveles de pobreza e inequidad; y micro, este factor contribuye a la generación de mayores salarios dado que los individuos adquieren conocimientos y desarrollan habilidades, permitiéndoles ser más productivos y gozar de un mayor bienestar, de esta manera experimentar externalidades sociales positivas como una mayor cohesión social y beneficios intergeneracionales.

Sin embargo, los gastos que generalmente los individuos realizan a fin de conservar su salud, alcanzar un mayor nivel de educación, adquirir conocimientos y mejorar sus habilidades en el puesto de trabajo a través de capacitaciones e incluso buscar oportunidades laborales realizando migraciones a otras naciones, eran considerados como gastos de consumo; hasta que, Schultz (1961) define el capital humano como el nivel de habilidades y conocimientos que poseen los individuos [13], determinando a la vez su importante relación con la productividad y que por tal razón aquellos desembolsos que se realizan a favor deben ser considerados más que como gastos de consumo, realmente un proceso de inversión; en el que la inversión en educación es la más rentable.

El estudio del capital humano como una de las principales fuentes de crecimiento económico y, en consecuencia, del desarrollo de un país, cobró un inusitado interés a partir de la década de los sesenta, tras la necesidad de explicar la parte del crecimiento no explicada por los factores de producción tradicionales (capital físico, trabajo y tierra). Este crecimiento no explicado, fue en principio atribuido a la tecnología por Solow (1957), mismo que más adelante se desglosó para dar lugar a los trabajos pioneros realizados por Schultz, Danison y Becker con la formulación de la Teoría del Capital Humano, cuyo análisis revelaba los mecanismos por los cuales la inversión en educación y la formación de la población influye sobre el crecimiento económico de una nación [31].

Shultz (1961) [4] tras emprender un análisis del crecimiento económico que experimentaba Estados Unidos durante el período 1929 - 1957, con el cálculo del stock de educación de la fuerza de trabajo y su rendimiento, determinó que el incremento de la educación explicaba entre el 16,5 y el 20 % del crecimiento del ingreso nacional de ese país. Asimismo, el interesante estudio realizado por Danison (1962) [4] atribuyó el crecimiento económico logrado por países como Estados Unidos, México, Argentina y Brasil entre 1910 - 1960, al incremento de la educación de la fuerza de trabajo. El premio Nobel de Economía Gary Becker (1992) [3], quien presentó un análisis en el cual señalaba que el nivel educativo de la población influye sobre el crecimiento económico en la medida que aumenta la capacidad productiva de los individuos mejorando así su aprendizaje y la manera de acceder a nueva información .

A pesar de que los autores mencionados anteriormente introdujeron formalmente el capital humano a la teoría económica, Adam Smith (1776) [15], en su obra "Naturaleza y Causa de la Riqueza de las Naciones" reconoce desde ya, la importancia de las habilidades personales en la determinación de una mayor productividad y de la riqueza de los individuos y de las naciones; pues afirmaba que, con una mayor división social del trabajo, producto de de la especialización y capacitación de la fuerza laboral se genera mayores conocimientos y cualificaciones, lo cual hace más eficiente el proceso productivo.

En base a los trabajos teóricos que se han descrito brevemente, son varios los empíricos desarrollados en este campo; entre tantos, Briceño menciona los realizados por Schultz (1971) y Lau, Jamison y Louat (1991) en los que señalan que el nivel educativo de la población influye en el crecimiento económico de una nación, en la medida que se mejora las capacidades de lectura y cálculo, posibilitándoles a los individuos suscribir contratos sofisticados, mejor manejo de información económica y legal además de permitirles desarrollar procesos que garanticen una asignación eficiente de recursos.

Es oportuno aseverar que los niveles de educación (primaria, secundaria y terciaria) repercuten indistintamente en el crecimiento de una economía, dependiendo de su grado de desarrollo y de los estratos socioeconómicos en los que ésta se compone. En el primer caso, existen estudios empíricos señalando que los niveles de educación primaria y secundaria tienen un efecto significativo en el crecimiento de países subdesarrollados, mientras que la educación superior en aquellas economías desarrolladas [4]. En el segundo caso, Terrones manifiesta que Ahluwalia (1974) determinó cómo la tasa de matrícula en educación primaria parece ser la variable de capital humano más importante para explicar la participación en el ingreso de la población de menores ingresos, mientras que la tasa de matrícula en educación secundaria es la variable de capital humano más importante para explicar la participación en el ingreso de la población con ingresos medios y está negativamente asociada con la participación en el ingreso de la población de mayores ingresos.

Otro interesante aporte es el de Lucas (1988) [8], al considerar que la educación induce un crecimiento porque concede gran importancia al efecto que tienen las acciones y comportamientos de los individuos sobre la economía, refiriéndose específicamente a la capacidad productiva de un individuo es más elevada en una sociedad donde el nivel educativo promedio y en particular, la de sus compañeros de trabajo, es más elevado.

En lo que a gastar en educación a fin de alcanzar beneficios sociales se refiere, vale la pena mencionar que, Barro un profesor de la Universidad de Harvard, determinó que la educación de la población eleva el costo de oportunidad de tener y mantener hijos [31]. Estudios posteriores Neira y Guisán (1999 y 2002) y Neira (2003) [16], destacan las aportaciones de Barro, constatando que los países con mayor inversión en capital humano son generalmente los que tiene menores ratios de fertilidad; entendiéndose como en la medida que la educación contribuye a reducir la tasa de fecundidad, actúa indirectamente sobre el crecimiento económico; pues, además de lograr el incremento de la tasa de crecimiento del producto per

cápita, las familias tienen la posibilidad de ahorrar e invertir más ya sea en capital físico o en capital humano.

Listando aún más los beneficios sociales generados por la inversión en educación, la Organización para la Contribución y Desarrollo Económico – OCDE (1999) [15], al respecto expresa que una mayor y mejor educación contribuye al desarrollo cultural e institucional, aumenta la cohesión social, posibilita la reducción de la delincuencia, favorece el interés por el cuidado del medioambiente, permite mejorar las condiciones de salubridad y refuerza la participación en la vida política, entre otras.

De lo expuesto anteriormente se entiende que, invertir en los elementos que compone el capital humano especialmente en educación, tiene importantes repercusiones en el crecimiento económico de una nación; sin embargo, es necesario recalcar que desarrollo y crecimiento no son sinónimos; y que por lo tanto, no sólo es importante qué y cuánto se produce sino también cómo se produce y sobretodo cómo se distribuyen los beneficios y perjuicios de esa capacidad productiva de manera que se considere la eficiencia y la equidad simultáneamente [24].

De acuerdo a la concepción de desarrollo que impulsa el Programa de las Naciones Unidas – PNUD en los últimos años, elabora el Índice de Desarrollo Humano (IDH) y mide el bienestar de un país considerando tres dimensiones como son: la esperanza de vida, el acceso a la educación y el gozo de una vida en condiciones óptimas. A través de éste, se puede evidenciar diferencias significativas que marca el grado de desarrollo de las economías, incluso dentro de una misma región.

En el año 2013, el PNUD publicó el índice del año 2012 de 187 países . De los países sudamericanos, Chile con un IDH de 0.819 se ubica en el puesto 40, seguido por Argentina que obtuvo 0.811, ambas naciones que lograron superar al resto de la región, claramente presentan indicadores muy significativos; es así como, la esperanza de vida de Chile supera a la de Ecuador con un poco más de 3

años y a la de Bolivia con 13 años, los años de educación promedio sobrepasa con 2.1 y 0.5 años respectivamente; finalmente en cuanto a los ingresos, éstos están cerca de duplicarse para el caso ecuatoriano y más que triplicarse para el caso boliviano. En referencia a los años de educación promedio, se puede apreciar que Bolivia supera a Ecuador con 1.6 años, sin embargo se ubica 19 puestos después; al respecto es acertado señalar que una mayor y mejor educación, por sí sola, no puede garantizar un desarrollo económico sin mantener políticas en los demás factores que permitan dicho efecto.

El PNUD en su clasificación 2012, exhibe a Chile y Argentina en el grupo de países con desarrollo humano muy alto, y a la mayoría (Uruguay, Venezuela, Perú, entre ellos Ecuador) los ubica en el grupo de desarrollo alto, a excepción de Paraguay, Bolivia, Guyana y Surinam que los sitúa en el grupo con un desarrollo medio.

País	Clasificación IDH	Salud Esperanza de vida al nacer (años)	Educación Años de educación promedio	Ingresos Ingreso Nacional Bruto per cápita
Chile	(40)0.819	79.3	9.7	14,987.00
Argentina	(45)0.811	76.1	9.3	15,347.00
Uruguay	(51)0.792	77.2	8.5	13,333.00
Venezuela	(71)0.748	74.6	7.6	15,347.00
Perú	(77)0.741	74.2	8.7	9,306.00
Brasil	(85)0.73	73.8	7.2	10,152.00
Ecuador	(89)0.724	75.8	7.6	7,471.00
Colombia	(91)0.719	73.9	7.3	8,711.00
Surinam	(105)0.684	70.8	7.2	7,327.00
Bolivia	(108)0.675	66.9	9.2	4,444.00
Paraguay	(111)0.669	72.7	7.7	4,497.00
Guyana	(118)0.636	70.2	8.5	3,387.00

Tabla 1.1: Indicadores de Desarrollo Humano de países sudamericanos.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas–PNUD.

Elaborado por: Autora.

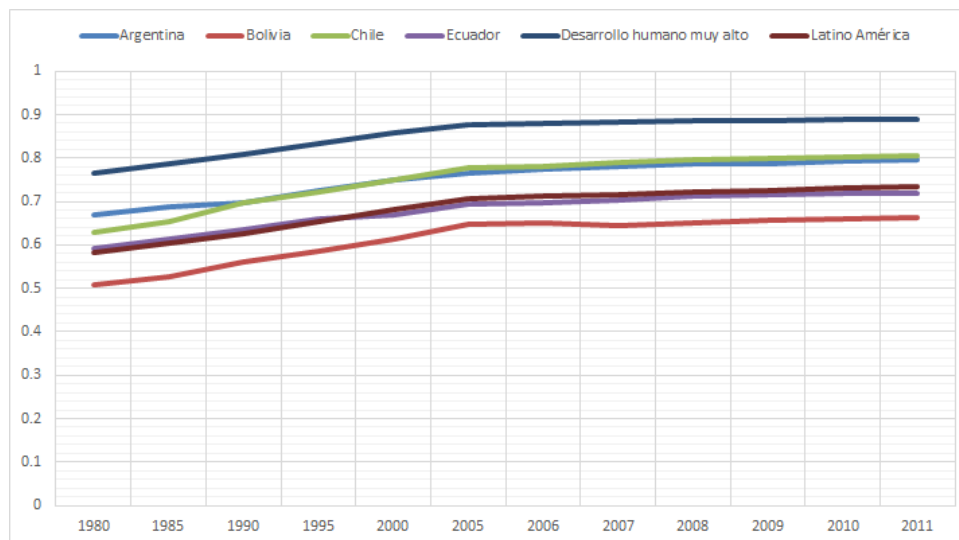


Figura 1.1: Índice de Desarrollo Humano: Tendencias 1980 - 2011.

Fuente: Programa de las Naciones Unidas – PNUD.

Elaborado por: Autora.

En la Figura 1.1 se han considerado cuatro países representativos de cada grupo, de manera que se puede visualizar como Chile y Argentina han logrado mantenerse por encima del IDH alcanzado por la región latinoamericana, encontrándose cerca de aquellos países cuyo desarrollo humano es muy alto. Lo contrario sucede con Bolivia, que durante el período de análisis no ha conseguido un IDH similar al calculado para la región, como sí lo ha logrado Ecuador.

El desarrollo humano desempeña un papel fundamental en la relación entre educación y crecimiento planteada anteriormente, pues es necesario invertir en educación y salud, componentes del desarrollo humano, para obtener un capital humano productivo que incremente la competitividad de un país y consecuentemente su crecimiento económico. En este sentido, se reconoce la población como la verdadera riqueza con la que cuenta una nación; y que por tanto, es preciso crear las condiciones propicias de empleo, ingresos, acceso a salud y educación, etc., para garantizar la entera satisfacción de las necesidades y el bienestar de todas las personas.

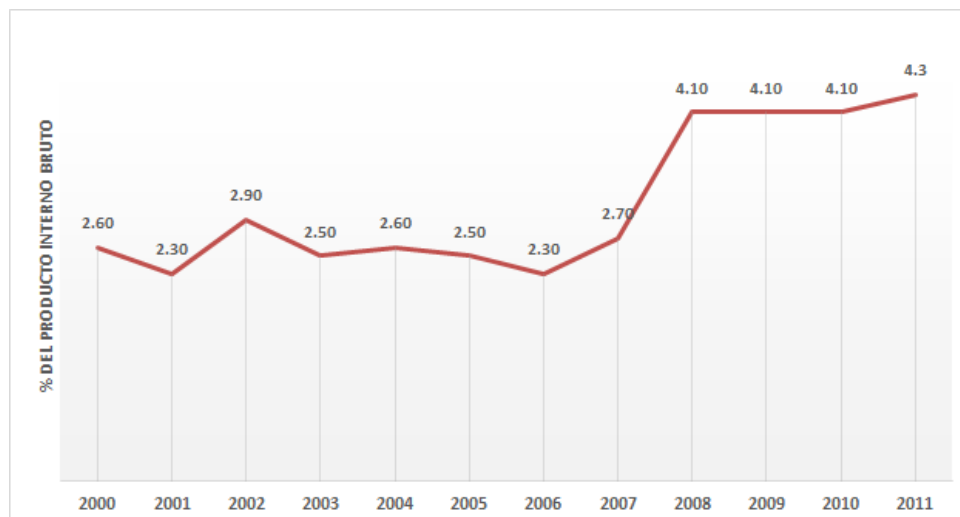


Figura 1.2: Gasto en Educación (% del PIB): Tendencias 2000 - 2011

Fuente: Banco Central del Ecuador.

Elaborado por: Autora.

1.2 ASPECTOS GENERALES DE LA EDUCACIÓN ECUATORIANA

En los últimos años Ecuador, en la búsqueda por mejorar uno de los sectores prioritarios como es la educación, se ha interesado en que éste posea una mayor participación en el Presupuesto General del Estado (PGE), y así lo establece la Disposición Transitoria Decimoctava de la Constitución de la República [7], en la que se manifiesta la asignación progresiva de recursos públicos del Estado para la educación básica y bachillerato, con incrementos anuales de al menos 0.5% del PIB, de manera que se alcance el mínimo de 6%. Comparando los

últimos once años, se verifica que mientras en el 2000 se invertía 416.4 millones de dólares que representa el 2.6% del PIB, para el 2011 se logró incrementar este monto a 3.397.9 millones; es decir el 4.3%, convirtiéndose en el año con mayor inversión educativa en relación al PIB. Si bien es cierto, el monto asignado en el 2011 es cerca de ocho veces el concedido en el 2000, en su comparación respecto al PIB, se trata de un incremento de 1.7 puntos porcentuales.

De esta manera, el sistema educativo ecuatoriano ha conseguido reducir ciertos

indicadores de vital importancia para el país. Conforme los dos últimos censos realizados, el analfabetismo se redujo de 9.0 % en 2001, al 6.8 % en 2010 manteniéndose así una tendencia decreciente en las cuatro últimas décadas; sin embargo, la población con mayor tasa de analfabetismo continúa siendo la femenina, indígena y montubia en particular. La escolaridad promedio subió de 6.61 % a 9.04 % entre 2001 y 2010, manifestándose un significativo incremento en el sector rural, pasando del 5.66 % al 7.3 %. Asimismo, la tasa neta de matrícula para primaria y secundaria ha experimentado notables incrementos, para la educación primaria, ésta era el 89 % en 2007 y 93 % en 2010; en la educación secundaria el salto fue mucho más importante, siendo en 2007 el 69 % y el 77 % para 2010.

En lo que ha cobertura del sistema se refiere, el 74,2 % de la población que estudia lo hace en establecimientos públicos, el sector rural es el que más demanda el servicio; al respecto, cabe señalar que Guaranda con el 92.4 %, es el cantón con mayor cobertura de educación pública, mientras Quito con el 56.6 % es el que menos tiene.

1.3 NUEVO MODELO DE GESTIÓN DEL MINISTERIO DE EDUCACIÓN

El Gobierno Nacional, considera que para alcanzar el Buen Vivir [28] de las y los ecuatorianos es indispensable la transformación del Estado en la medida que permita garantizar la distribución y provisión de bienes y servicios públicos de calidad para la ciudadanía.

En este sentido, la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – SENPLADES desarrolló el Plan Nacional de Descentralización[29], sustento del proceso de descentralización y desconcentración del Estado; el primero se refiere a la entrega de responsabilidades y recursos desde el Gobierno Central hacia los gobiernos provinciales, municipales y parroquiales, denominados Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), mientras que desconcentración significa trasladar los servicios que ofrece una entidad de nivel nacional a la ciudadanía en el territorio

más cercano (zonas, distritos y circuitos).

En el caso del sector educativo, el Art. 6 de la Ley Orgánica de Educación Intercultural [18] señala que, el Estado ecuatoriano se compromete a través del Ministerio de Educación a garantizar una oferta educativa completa, inclusiva, de calidad y eficiente, en función de las necesidades y características que presenta la población; y, bajo los principios de equidad, igualdad, no discriminación y libertad, a garantizar que todas las personas tengan acceso a una educación pública de calidad y cercana. Es posible explicar el proceso de descentralización que se emprende en el sistema educacional a través del Nuevo Modelo de Gestión Educativa (NMGE), el cual divide el territorio nacional en zonas, distritos y circuitos de acuerdo a la oferta y demanda educativa que presenta cada uno de ellos y la división ya establecida por la SENPLADES.

En este sentido, la LOEI en su Capítulo Cuarto en sus Art. 25 – 27 [18], establece que la Autoridad Educativa Nacional está conformada por cuatro niveles de gestión, uno de carácter central y tres de gestión desconcentrada que son: zonal intercultural y bilingüe, distrital intercultural y bilingüe; y, circuitos educativos interculturales y bilingües.

- **Nivel Central:** Es el encargado de la rectoría, coordinación, regulación y control del sistema nacional de educación.
- **Niveles Desconcentrados:** Son los niveles zonales, distritales y circuitales encargados de gestionar y ejecutar las políticas educativas definidas por el nivel central.

El objetivo es renovar y automatizar procesos en beneficio de la ciudadanía, facilitándoles de esta manera la obtención de servicios educativos en lugares centrales y cercanos, ya que cada circuito ofertaría educación inicial, educación general básica y bachillerato.

El territorio nacional se divide en 9 Coordinaciones Zonales, 140 Distritos y

1.147 Circuitos educativos. El Distrito Metropolitano de Quito (Zona 9), se divide en 9 Distritos y 45 Circuitos.

ZONA	DISTRITOS EDUCATIVOS	CIRCUITOS EDUCATIVOS
1	16	152
2	18	70
3	19	183
4	15	166
5	25	186
6	17	125
7	19	141
8	12	44
9	9	45
Subtotal	140	1112
Zonas no delimitadas	3	5
Total	143	1117

Tabla 1.2: Reorganización Territorial.

Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

Elaborado por: Autora.

1.3.1 DIVISIÓN DISTRITAL Y CIRCUITAL DEL DMQ

Cada zona está constituida por distritos y éstos a su vez en circuitos. El Ministerio de Educación divide al Distrito Metropolitano de Quito, conformado por 65 parroquias, en 9 distritos y 45 circuitos. Cada distrito se organiza como un conjunto de circuitos y cada circuito corresponde a 1 o hasta 4 parroquias dependiendo de la población en edad escolar y los centros educativos existentes en cada una de ellas.

En la Figura 1.3 se puede distinguir los 9 distritos en los que se ha dividido el DMQ y en la Tabla 1.3.1 se detalla cada distrito con los circuitos que cada uno acoge.

Es importante señalar que el Distrito 1, conformado por las parroquias San José de Minas, Gualea, Nanegal, Nanegalito y Pacto corresponden al régimen escolar costa; por lo que, el período escolar de este distrito difiere del resto de

distritos que se encuentran dentro del régimen escolar sierra, por esta razón se lo excluye del grupo de estudio.

CÓD. CIRCUITO	PARROQUIA
----------------------	------------------

DISTRITO 2 (17D02)

C1	Llano Chico
C2	Calderón-Carapungo
C3	Calderón-Carapungo
C4	Guayllabamba

DISTRITO 3 (17D03)

C1	Puéllaro
C2	Perucho, Chavezpamba, Atahualpa
C3	San José de Minas
C4	Nono, El Condado
C5	Cotocollao, Ponceano
C6	Calacal, San Antonio
C7	Pomasqui
C8	Carcelén
C9	Comité del Pueblo

DISTRITO 4 (17D04)

C1	Puengasí
C2	Centro Histórico
C3	La Libertad
C4	San Juan
C5	Itchimbía

DISTRITO 5 (17D05)

C1	Concepción, Rumipamba
C2	Iñaquito, Mariscal Sucre
C3	Belisario Quevedo

C4	Kennedy, El Inca, Jipijapa, Zábiza
C5	Cochapamba

DISTRITO 6 (17D06)

C1	Chilibulo, La Madgalena
C2	San Bartolo
C3	Chimbacalle
C4	La Ferroviaria, La Argelia
C5	Solanda
C6	Lloa, La Mena

DISTRITO 7 (17D07)

C1	La Ecuatoriana, Chillogallo
C2	Guamaní
C3	Quitumbe, Turubamba

DISTRITO 8 (17D08)

C1	Conocoto
C2	Pintag
C3	Amaguaña
C4	Guangopolo, Alangasí, La Merced

DISTRITO 9 (17D09)

C1	Tumbaco
C2	Cumbayá
C3	Puembo, Pífo
C4	Tababela, Yaruquí
C5	El Quinche, Checa

Tabla 1.3: Distribución de distritos y circuitos del DMQ.

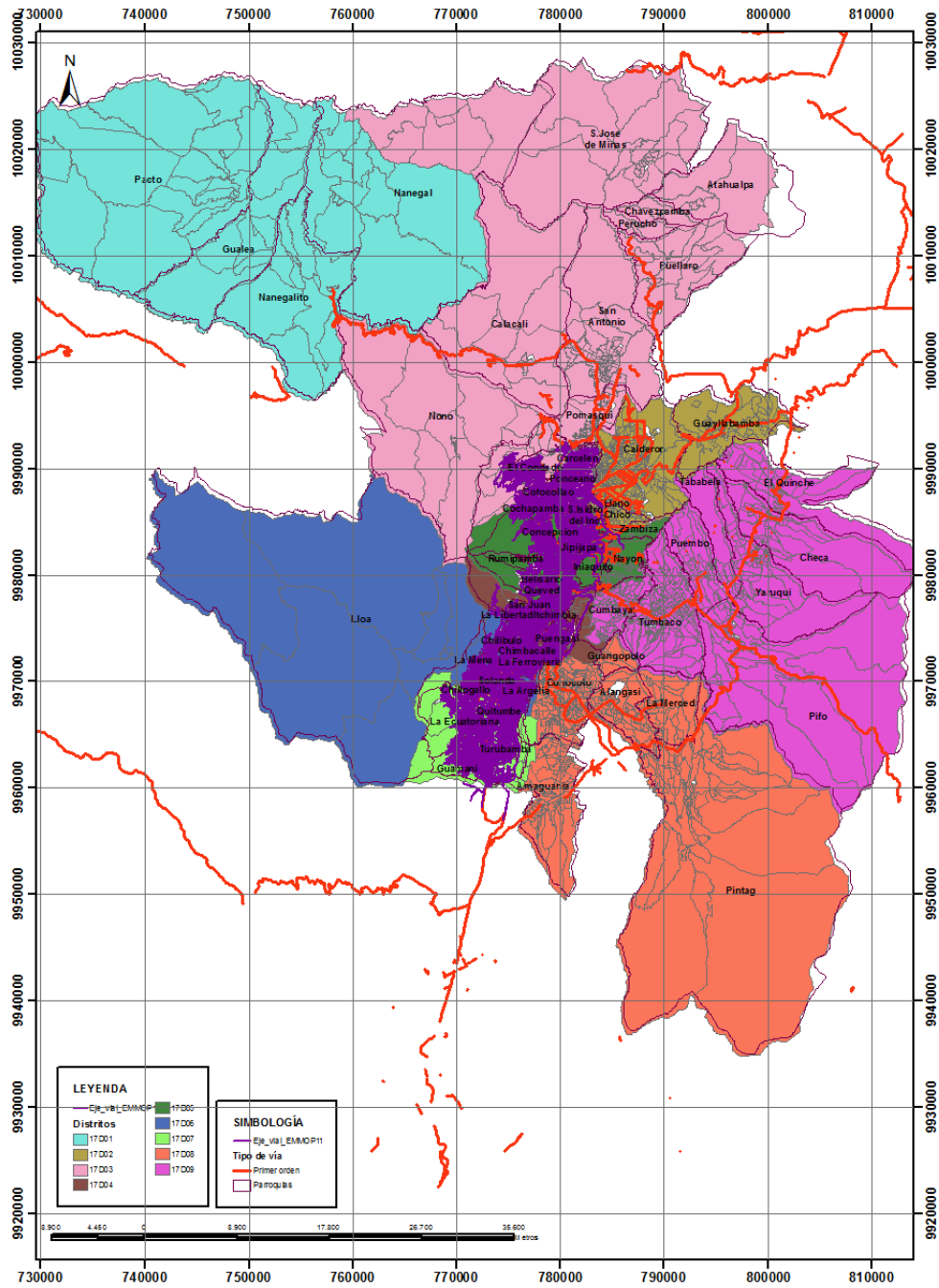


Figura 1.3: Distritos y circuitos del DMQ.

Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

1.3.2 PROCESO DE ASIGNACIÓN DE CUPOS ESCOLARES EN INSTITUCIONES EDUCATIVAS PÚBLICAS

El proceso de asignación de cupos escolares en el sistema público, hasta el año 2010, dependía de cada institución educativa, algunas lo realizaban mediante un sorteo y otras con una rendición de pruebas académicas, cerrando este proceso con la publicación de la lista de estudiantes aprobados; sin embargo, para el proceso de inscripción el Ministerio de Educación estableció que en todas las instituciones, los requisitos que debían solicitarse eran: partida de nacimiento o cédula de identidad y la libreta de calificaciones del último año cursado. Con este proceso los estudiantes se inscribían en todas las instituciones que consideraban de su preferencia e ingresaban a aquella en la que resultaban favorecidos.

A partir del año 2011, a la asignación anterior se añade como requisito de inscripción la presentación de un comprobante de pago de arriendo o de un servicio básico, para cumplir con la disposición de zonificación y cercanía a los centros educativos. En cuanto al proceso de selección en sí, las autoridades educativas señalaron como criterios un sorteo público entre los niños inscritos para primer año de EGB y meritocracia para aquellos aspirantes a segundo y octavo año de EGB, para ello se solicitó además la conformación de una comisión integrada por: director/a, rector/a, presidente/a del comité central de padres de familia y presidente/a del consejo estudiantil. El proceso finaliza con la elaboración de las nóminas de los estudiantes aprobados y el envío de una lista de aquellos estudiantes inscritos pero no seleccionados, a su respectiva Unidad Territorial Educativa, con el fin de que ninguno de ellos quede al margen de su derecho a la educación y sean ubicados en otros planteles de acuerdo a su disponibilidad de cupos y, por supuesto, cercanos a sus lugares de residencia.

Para el año lectivo 2012–2013, se mantuvieron los criterios para el proceso de inscripción, variando un poco aquellos de selección de estudiantes nuevos que a continuación se describen, pues se estableció una matrícula inmediata para aquellos que ya estudian en la institución y que únicamente son promovidos de

año escolar.

- En el caso de estudiantes que van a ingresar a 1 y 2 de EGB, en las instituciones donde la demanda supere a la capacidad de atención, la autoridad máxima realizará un sorteo público entre los inscritos.
- En el caso de estudiantes que van a ingresar a 8 año de EGB, en las instituciones donde la demanda supere a la capacidad de atención, la comisión integrada para el efecto realizará la selección de los aspirantes tomando en cuenta el promedio de rendimiento alcanzado por cada estudiante en sexto y séptimo de EGB. Se aplicarán los siguientes criterios de prioridad: Tendrán garantizado su cupo en la institución educativa de su preferencia los siguientes aspirantes:
 - Los que fueron abanderados en las escuelas de las que provienen.
 - Los que cuentan con un carnet emitido por el CONADIS que certifique capacidades especiales que no impidan su integración en las actividades regulares de la institución educativa.

Los estudiantes que viven en la misma zona de la institución educativa tendrán cupo preferencial. Sin embargo, si la demanda supera el cupo de la institución, solo serán seleccionados aquellos estudiantes que tengan los mejores promedios alcanzados en sexto y séptimo año de EGB.

Si en la comparación de promedios alcanzados en los años precedentes, dos o más estudiantes tuvieren iguales promedios, se dará preferencia al estudiante que tenga hermano(s) matriculados en dicha institución educativa.

Si en la comparación de promedios alcanzados en los años precedentes, dos o más estudiantes tuvieren iguales promedios, se dará preferencia al estudiante que tenga hermano(s) matriculados en dicha institución.

Si, tras aplicar el criterio anterior, el empate continuara, se dará preferen-

cia al estudiante cuyos padres trabajen en la misma zona de la institución educativa.

La selección de estudiantes fue realizada una vez más por cada institución educativa, mediante la conformación de la comisión antes mencionada. Una vez concluido el proceso de selección, las autoridades de los planteles de nivel inicial, educación general básica y bachillerato hicieron llegar a la Unidad Territorial Educativa correspondiente, la nómina de los aspirantes que no fueron seleccionados.

Para el proceso de inscripción se eliminó la posibilidad de entregar un cupo escolar a aquel estudiante que no cumpliera con los requisitos, de igual manera la asignación prioritaria a los hijos o parientes de profesores o personal administrativo de las instituciones educativas y a su vez que las autoridades educativas pudiesen alterar los criterios trazados.

1.3.3 SELECCIÓN CASO DE ESTUDIO

De acuerdo a la descripción específica del proceso de asignación de cupos que se define hasta el momento en el Ministerio de Educación, el criterio de cercanía ha generado desórdenes que a través de un sinnúmero de artículos de prensa, son ahora de dominio público, pues en ellos se mencionan situaciones como: “conseguir cupos de matrícula en los centros educativos públicos de Quito se ha convertido en una angustiada tortura para muchos padres de familia. Y no por falta de cupos, sino por los desajustes al aplicar el sistema de zonificación escolar” [10] .

En este sentido, lograr automatizar el proceso de asignación de cupos con la investigación propuesta, podría no sólo contribuir a mejorar las condiciones actuales proporcionando criterios técnicos que dejan de lado criterios subjetivos sino también aplicarse como una herramienta de apoyo a la toma de decisiones estratégicas en este ámbito por parte de las autoridades educativas, en un intento de resolver los conflictos de intereses entre los usuarios del sector educativo.

El Distrito Metropolitano de Quito, dividido en 9 distritos por el Ministerio de

Educación, fue seleccionado como caso de estudio por su referencia significativa a nivel nacional, ya que se constituye, por la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, la novena zona administrativa por su posición geopolítica como capital del Ecuador; y además, por ser uno de los cantones con mayor densidad poblacional, de manera que un estudio realizado en esta zona facilitaría su réplica en otros lugares del país.

El Archivo Maestro de Instituciones Educativas (AMIE) [22], resultado del Censo Nacional de Instituciones Educativas 2007 - 2008 determina que en el período 2011 - 2012² (fin del año lectivo) existirían en el Distrito Metropolitano de Quito 851 instituciones educativas de sostenimiento fiscal, 38 de sostenimiento municipal, 70 de sostenimiento fiscomisional y 1461 particular.

La Ley Orgánica de Educación Intercultural (LOEI) [18] en su capítulo séptimo señala que las instituciones educativas pueden ser públicas, municipales, fiscomisionales y particulares. La educación impartida por instituciones públicas (fiscales o municipales, de fuerzas armadas o policiales) y fiscomisionales, es laica y gratuita para los beneficiarios; para el primer caso cuentan con financiamiento total del Estado, mientras que para las otras es total o parcial de acuerdo al cumplimiento de los principios de gratuidad, igualdad de oportunidades para el acceso y permanencia, entre otros.

En este trabajo, se considerará la asignación de cupos para estudiantes promovidos a octavo año de EGB en el sistema de educación público ecuatoriano, tomando en cuenta el nuevo modelo de gestión propuesto por el Ministerio de Educación, en el cual los estudiantes no eligen directamente el centro educativo al cual quieren asistir, sino que esta asignación se realiza de manera directa desde la Subsecretaría de Educación del Distrito metropolitano de Quito (SEDMQ), para el cumplimiento de la planificación territorial. Es decir se desea que cada estudiante

²Se trata de un archivo actualizado hasta el inicio del año lectivo 2012 - 2013, recibido directamente de la SEDMQ.

permanezca en su circuito educativo y de no existir instituciones educativas al momento en su circuito, entonces se espera que el estudiante permanezca al menos en su distrito.

Los modelos propuestos pueden aplicarse en todos los niveles educativos, de manera especial a estudiantes que ingresan a primer año de EGB, a primer año de bachillerato y a octavo año de EGB, siendo este último el que presenta mayores problemas por la transición de escuela a colegio, ya que muchas escuelas tienen solamente hasta séptimo año de EGB.

CAPÍTULO 2

MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES

Este apartado inicia con una descripción general de cinco tipos de problemas de redes, considerados importantes por su amplia gama de aplicaciones en diversas áreas, como son: planeación de abastecimiento, distribución y comercialización de bienes, determinación de la ruta más corta entre dos ciudades en una red de carreteras, asignación de funciones o tareas a trabajadores, entre otras; dentro de los cinco problemas, se incluye el modelo de flujo de costo mínimo.

Finalmente se indaga sobre tres aplicaciones realizadas por Belford y Ratliff (1971) [5], McKeown y Workman (1976) [21], y Elizondo (1993) [12], quienes utilizaron estas técnicas para la asignación de estudiantes a centros educativos bajo diferentes criterios de selección.

2.1 PROBLEMA DEL FLUJO DE COSTO MÍNIMO

El problema de flujo de costo mínimo (PFCM) tiene una posición medular entre los modelos de optimización en redes; primero, porque abarca una clase amplia de aplicaciones y segundo, su solución es muy eficiente [19].

Las principales aplicaciones de PFCM han ocurrido en diversas áreas, como: agricultura, telecomunicaciones, fabricación de artículos, distribución y comercialización de bienes, transporte e incluso en educación y salud. Entre las aplicaciones más comunes, están: la operación de una red de distribución o de una red de suministros, la administración de desechos sólidos o flujos de efectivo e incluso la coordinación de mezclas de productos en plantas.

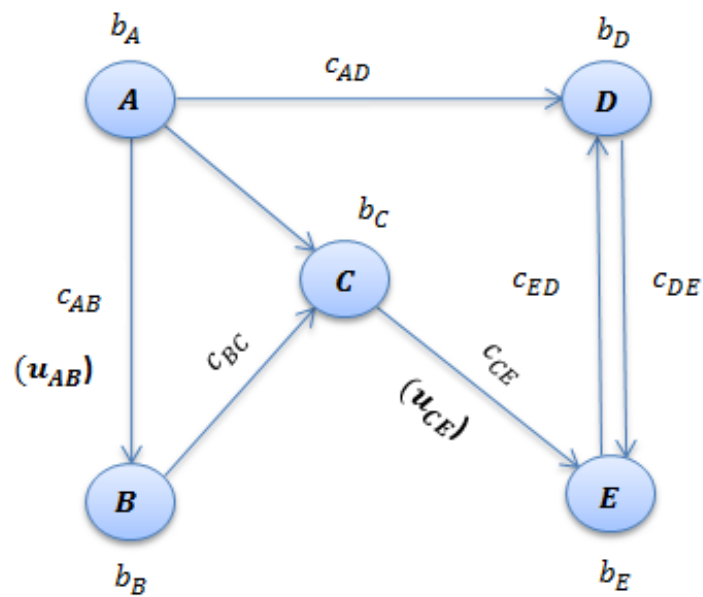


Figura 2.1: Representación del modelo del flujo de costo mínimo con nodos y arcos.

Fuente: H. Lieberman, Investigación de Operaciones.

La Figura 2.1 describe un PFCM, es una red dirigida y conexa, con dos nodos origen (A, B), dos nodos destino (D, E) y un nodo de transbordo (C). El problema es fácil enunciarlo, se desea determinar el envío de un producto a través de la red al menor costo posible a fin de satisfacer la demanda los nodos (D, E) con la oferta disponible en los nodos (A, B), se permite el flujo de cada arco sólo en la dirección indicada por la flecha sin exceder la capacidad del arco.

De manera general el PFCM puede formularse como un problema de programación lineal de la siguiente manera: si se considera una red dirigida R formada por un conjunto V de n nodos y un conjunto A de m arcos de la forma (i, j) (indicando que el arco sale del nodo i hacia el nodo j) con capacidad μ_{ij} , el objetivo es enviar los recursos disponibles desde sus orígenes hacia sus destinos a lo largo de la red al menor costo posible. Sea x_{ij} el flujo a través del arco (i, j) , y c_{ij} el costo por unidad de flujo a través del arco (i, j) . Además, se asocia a cada nodo $i \in V$ un número b_i que indica la oferta o la demanda sobre los nodos dependiendo de si $b_i > 0$, significa que el nodo i demanda flujo sobre la red, $b_i < 0$ significa que i abastece con flujo a la red, y que $b_i = 0$ no demanda ni abastece

con flujo a la red. Así, b_i es el valor de flujo neto generado en el nodo i . Con esta notación, la formulación de programación lineal de este problema es:

$$\text{mín } Z = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}, \quad (2.1)$$

sujeto a

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{j:(j,i) \in A} x_{ji} = b_i, \quad \forall i \in V \quad (2.2)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij} \leq \mu_{ij}, \quad \forall (i,j) \in A. \quad (2.3)$$

En el conjunto de restricciones del modelo, la ecuación (2.2) representa la condición de conservación de flujo; es decir, el flujo neto generado en cada nodo i que resulta de la diferencia entre el flujo total que entra al nodo i y el flujo total que sale del nodo i , debe ser igual a su demanda o suministro. Las restricciones (2.3) aseguran que el flujo individual de cualquier producto/recurso satisfaga la capacidad del arco por el que está circulando. Finalmente, la función objetivo (2.1) busca que el costo total del flujo sea mínimo.

Una condición necesaria para que un problema de flujo de costo mínimo tenga soluciones factibles, es:

$$\sum_{i=1}^n b_i = 0$$

Es decir, el flujo total generado en los nodos origen es igual al flujo total demandado por los nodos destino. En muchas aplicaciones se dan situaciones en las que se viola esta condición, en ese caso se aumenta un nodo destino ficticio para recibir el exceso de recursos ofertados, o bien se aumenta un nodo origen ficticio para generar un flujo equivalente al exceso de recursos demandados.

2.2 PROBLEMA DE TRANSPORTE

El problema en general tiene que ver con el transporte de un artículo desde la fábrica hasta la bodega, de tal manera que se minimicen los costos totales de distribución; sin embargo, su campo de aplicación ha llegado a otras áreas de operación, tales como: control de inventarios, programación de empleos, asignación de personal, entre otras.

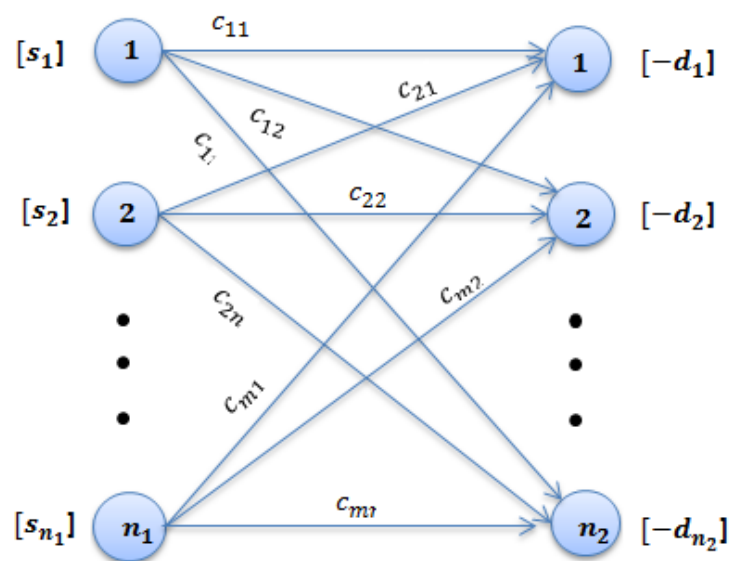


Figura 2.2: Representación del modelo de transporte con nodos y arcos.

Fuente: H. Lieberman, Investigación de Operaciones.

La Figura 2.2 describe un problema de transporte, es una red dirigida con n_1 nodos origen y n_2 nodos destino. El problema consiste en determinar cuántas unidades de un bien se deben transportar desde un grupo de centros de suministro, llamados orígenes, a un grupo de centros de recepción, llamados destinos, de tal forma que se minimice el costo total de distribución satisfaciendo la demanda de los centros de recepción sin exceder la oferta de los centros de suministro.

El problema de transporte es un caso especial del PFCM con la propiedad de que el conjunto V es dividido en dos subconjuntos V_1 y V_2 , cada nodo en V_1 es un nodo de origen y cada nodo en V_2 es un nodo de destino y cada arco (i, j) en A cumple la condición que i está en V_1 y j en V_2 . No se incluyen nodos de

trasbordo. En este contexto, para formularlo como un problema de programación lineal, consideramos una red dirigida R con los subconjuntos V_1 y V_2 de n_1 y n_2 nodos, respectivamente; y, el conjunto A de m arcos, todos los arcos están dirigidos desde un nodo de origen (recursos) hasta un nodo de destino (demanda). El flujo que circula a través del arco (i, j) está dado por x_{ij} , para $i = 1, 2, \dots, n_1$ y $j = 1, 2, \dots, n_2$, el costo asociado por unidad de flujo es c_{ij} . El objetivo es minimizar el costo total de distribución, tomando en cuenta que la demanda del nodo j es d_j y la oferta del nodo i es s_i . Como el problema de transporte no impone restricciones de cota superior sobre las x_{ij} individuales, se toma $\mu_{ij} = \infty, \forall i, j$.

Si Z es el costo total de la distribución y x_{ij} el número de unidades que se envían del origen i hasta el destino j , el modelo matemático es:

$$\text{mín } Z = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} c_{ij} x_{ij}, \quad (2.4)$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^{n_2} x_{ij} \leq s_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n_1 \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} x_{ij} \geq d_j, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n_2 \quad (2.6)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A \quad (2.7)$$

El primer conjunto de restricciones 2.5 estipula que la suma de los envíos desde un origen no supere a su oferta; en forma análoga, el segundo conjunto de restricciones 2.6 requiere que la suma de los envíos a un destino sea mayor o igual que su demanda. El problema de transporte tiene soluciones factibles cuando:

$$\sum_{i=1}^{n_1} s_i = \sum_{j=1}^{n_2} d_j$$

Y se dice además que es un problema balanceado. En todo caso, si la capacidad de los orígenes tiene un valor que excede a los requerimientos de los destinos, se dice que se tiene un caso de holgura, o bien si la capacidad de los orígenes tiene un valor menor a los requerimientos de los destinos, se dice que se tiene un caso de déficit de las fuentes. Para ello es necesario incrementar una fuente o un destino “ficticio o artificial”, según sea el caso: sí la oferta total es mayor que la demanda total, se crea un destino ficticio; y sí la demanda total supera a la oferta total, se crea una fuente ficticia. Así, las fuentes o destinos ficticios reciben los excedentes respectivos.

2.3 PROBLEMA DE ASIGNACIÓN

El problema de asignación es uno de los más conocidos dentro de la Optimización Combinatoria. Este problema tiene que ver con la designación de tareas a empleados, de territorios a vendedores, de contratos a contratistas o de trabajos a plantas de producción, entre otros; es decir, se refiere a la disposición de algunos recursos, sean máquinas, personas, vehículos o incluso períodos, para la realización de ciertos productos o tareas a un costo total mínimo.

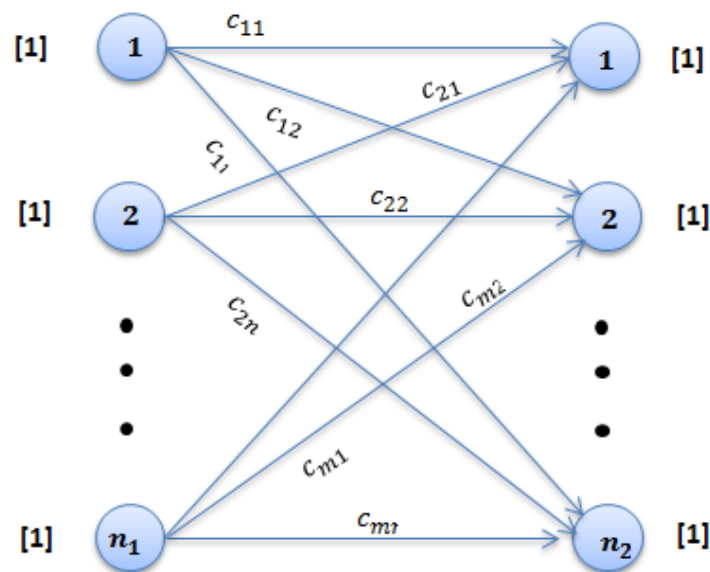


Figura 2.3: Representación del modelo de asignación con nodos y arcos.

Fuente: H. Lieberman, Investigación de Operaciones.

La Figura 2.3 describe un problema de asignación. Es una red dirigida con n_1 número de recursos y n_2 número de tareas, a cada recurso se le asigna exactamente una tarea y cada tarea debe ser realizada por un recurso.

Para su formulación como un problema de programación lineal, consideramos una red dirigida R con los subconjuntos V_1 y V_2 de n_1 y n_2 nodos, respectivamente; y, el conjunto A de m arcos. Todos los arcos están dirigidos desde el nodo de origen (recursos) i , para $i = 1, 2, \dots, n_1$, hasta el nodo de destino (tareas) j , para $j = 1, 2, \dots, n_2$. El objetivo consiste en determinar cómo asignar los recursos a sus tareas de tal forma que se minimice el costo total.

El problema de asignación usa variables binarias de decisión x_{ij} , para $i = 1, 2, \dots, n_1$ y $j = 1, 2, \dots, n_2$, y toma valores 0 o 1. El modelo es el siguiente:

$$\text{mín } Z = \sum_{i=1}^{n_1} \sum_{j=1}^{n_2} c_{ij} x_{ij}, \quad (2.8)$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^{n_2} x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, 2, \dots, n_1 \quad (2.9)$$

$$\sum_{i=1}^{n_1} x_{ij} = 1, \quad \forall j = 1, 2, \dots, n_2 \quad (2.10)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A. \quad (2.11)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el recurso } i \text{ realiza la tarea } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

El conjunto de restricciones 2.9 determina que cada recurso realiza exactamente una función o tarea, mientras que el segundo conjunto 2.10 garantiza que cada tarea o función es asignada exactamente a un recurso.

El problema de asignación es un PFCM en la red $R = (V_1 \cup V_2, A)$ con $b_i = 1$ para

todo $i \in V_1$, $b_i = -1$ para todo $i \in V_2$, y $\mu_{ij} = 1$ para todo $(i, j) \in A$.

Si se compara este modelo en particular con el modelo del problema de transporte, se determina que sus estructuras base son similares, ya que los orígenes o fuentes son ahora recursos y los destinos son las asignaciones o tareas, cada recurso s_i y demanda d_j es igual a 1.

Para resolver el problema de asignación, es necesario que se cumpla con la condición de balance. Si no se cumple con esta condición, se estandariza el problema creando recursos o tareas ficticias, según sea el caso, tantas como se necesiten hasta que se igualen los recursos con las tareas.

2.4 PROBLEMA DE LA RUTA MÁS CORTA

De acuerdo a la literatura, el problema de la ruta más corta es posiblemente el más simple de todos los problemas en redes, porque son fáciles de formularlos y resolverlos eficientemente.

Existe una variedad de aplicaciones en las que se desea enviar algún producto entre dos puntos específicos en una red lo más rápido o lo más barato como sea posible entre ellas, están: encontrar la ruta más corta o más rápida entre dos puntos, planeación de tráfico urbano, diseño de rutas de vehículos, administración de proyectos, planeación de producción, horarios de operadores telefónicos, reemplazo de equipos; sin embargo, no todas sus aplicaciones implican minimizar la distancia recorrida de un origen a un destino, existen situaciones en las que se ha experimentado la minimización de costos o a su vez tiempos totales de una secuencia de actividades.

La Figura 2.4 muestra como este problema en particular considera una red conexa no dirigida con un nodo de origen S y otro de destino T , a cada arco se asocia una distancia no negativa. El objetivo radica en encontrar el camino con la mínima distancia total recorrida desde el nodo de origen al nodo de destino.

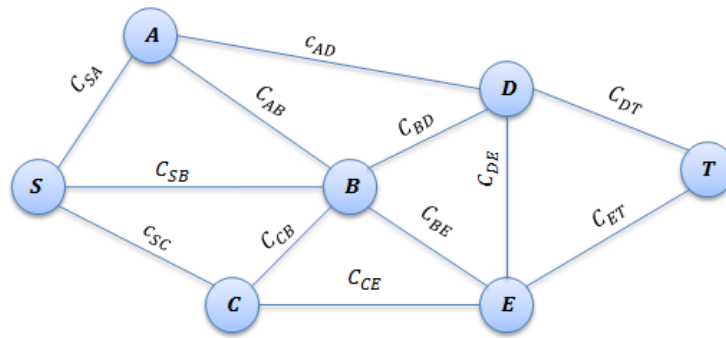


Figura 2.4: Representación del modelo de la ruta más corta con nodos y arcos.

Fuente: H. Lieberman, Investigación de Operaciones.

Para formular el modelo de programación lineal de este problema, consideramos una red no dirigida R formada por un conjunto V de n nodos, entre ellos, un nodo origen S y un nodo destino T , y un conjunto A de m arcos de la forma (i, j) (indicando que el arco sale del nodo i hacia el nodo j). Definimos una función de costos (longitudes) asociados c_{ij} para cada arco (i, j) . El objetivo es encontrar la ruta de S a T que minimice el costo total del camino. Es posible considerar en este problema, como el envío de 1 unidad de flujo desde el nodo S al nodo T en una red sin capacidades. El modelo matemático, es el siguiente:

$$\text{mín } Z = \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij}, \quad (2.12)$$

sujeto a

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{j:(j,i) \in A} x_{ji} = b_i \quad (2.13)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad \forall (i, j) \in A. \quad (2.14)$$

$$b_i = \begin{cases} 1 & i = S \\ 0 & i \in V \setminus \{S, T\} \\ -1 & i = T \end{cases}$$

El lado derecho del conjunto de restricciones 2.13 representa la naturaleza del nodo; es decir, si $b_i = 1$ es un nodo de origen, si $b_i = 0$ se trata de un nodo de

trasbordo y si $b_i = -1$ es un nodo destino.

2.5 PROBLEMA DEL FLUJO MÁXIMO

El problema del flujo máximo es un caso especial del PFCM, dado que modela con costos asociados a los arcos. Algunas de las aplicaciones que se han desarrollado maximizando el flujo de la red, son: de distribución de fábricas a sus clientes, de suministros de la compañía de los proveedores a las fábricas, de petróleo por un sistema de tuberías, de agua a través de un sistema de acueductos, de vehículos por una red de transporte, entre otras.

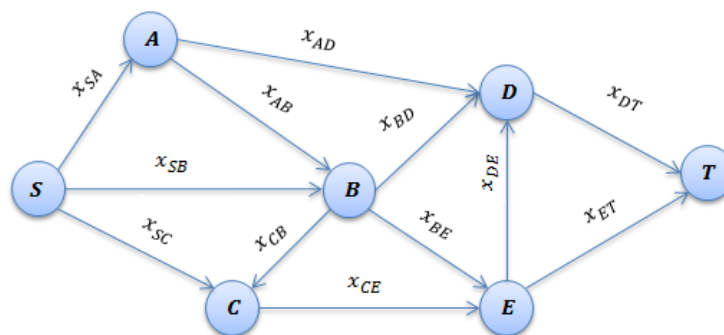


Figura 2.5: Representación del modelo del flujo máximo con nodos y arcos.

Fuente: H. Lieberman, Investigación de Operaciones.

En la Figura 2.5 se indica de manera general una red con un nodo origen S y un nodo destino T , el objetivo es enviar el mayor flujo como sea posible entre estos dos nodos sin exceder la capacidad de ningún arco.

Para formular el modelo de programación lineal del problema, consideramos una red conexa dirigida $R = (V, A)$ con capacidades no negativas μ_{ij} asociadas a cada arco $(i, j) \in A$. Se permite la dirección del flujo señalada por la flecha, en un solo sentido. La cantidad máxima del flujo por un arco está dada por la capacidad del arco, en el nodo S (fuente) todos los arcos señalan hacia afuera y en el nodo T (destino) todos los arcos señalan hacia el nodo. El objetivo del problema es encontrar la cantidad máxima de flujo que puede circular desde el nodo fuente hasta el nodo destino, respetando las capacidades de los arcos.

El modelo matemático, es el siguiente:

$$\text{mín } Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (2.15)$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{j=1}^n x_{ji} = \nu \quad i = S \quad (2.16)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{j=1}^n x_{ji} = 0 \quad i \in V \setminus \{S, T\} \quad (2.17)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} - \sum_{j=1}^n x_{ji} = -\nu \quad i = T \quad (2.18)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq \mu_{ij}, \quad \forall (i, j) \in A. \quad (2.19)$$

Se define ν como una variable escalar cuyo valor hace referencia a la cantidad del flujo que circula en la red. Es importante mencionar que para dar solución al problema es necesario que a más de cumplir con las restricciones de capacidad y no negatividad (2.19), se satisfaga la de balance de flujo; es decir que, para todos los nodos excepto fuente y destino, el flujo neto saliente del nodo es cero; esto es, lo que entra es igual a lo que sale.

Existen aplicaciones en las que el flujo a través de la red se genera en más de un nodo o termina en más de uno, se cita como ejemplo el caso de una red de distribución de una compañía que tiene varias fábricas y múltiples clientes; en estos casos, se sugiere la inclusión a la red original un nodo fuente ficticio que da origen a todo el flujo o de un nodo destino ficticio que termina absorbiendo todo el flujo, con estos cambios todos los nodos de la red original pasan a ser nodos de trasbordo.

2.6 MODELOS DE OPTIMIZACIÓN DE REDES PARA LA ASIGNACIÓN DE CUPOS ESCOLARES

Gran parte de las aplicaciones que se han realizado en esta área en particular, tienen en común la asignación de estudiantes a los centros educativos cercanos a su lugar de residencia, de manera que la distancia total recorrida sea la mínima posible. En este sentido, a continuación se describen tres modelos que consideran ciertas variantes de acuerdo a sus necesidades para el proceso de asignación de cupos escolares.

2.6.1 MODELO DE BELFORD Y RATLIFF

En la literatura, una de las primeras aplicaciones para asignar estudiantes a escuelas se dio respetando criterios de balance racial utilizando técnicas de modelos de flujos de costo mínimo, Belford y Ratliff (1971) [5].

Un modelo de flujo de costo mínimo tomando en cuenta criterios de balance racial asume que existen en un distrito S escuelas y se divide al distrito escolar en L lugares. Además se considera que existe un número b_i y $K_i - b_i$ de estudiantes negros y blancos en el lugar i . La única condición es que el número de lugares sea finito y que exista una medida d_{ij} que aproxime razonablemente la distancia que un estudiante en el lugar i debe viajar para trasladarse a la escuela j . La escuela j puede aceptar K_j estudiantes. Se tiene además que \underline{p} denota una cota inferior y \bar{p} una cota superior en el porcentaje de estudiantes negros asignados a cada escuela. El objetivo es encontrar una asignación de estudiantes a escuelas de tal manera que se mantenga un balance racial y se minimice la distancia total viajada por los estudiantes.

En el Figura 2.6 se muestra la red asociada a este modelo para el caso de tres lugares y dos escuelas. Como se puede observar, en esta formulación se modela cada lugar por medio de dos nodos l_i y l'_i y cada escuela como dos nodos s_j y s'_j . Las variables de decisión para este problema son $f(l_i, s_j)$ el número de

estudiantes negros que se asignan desde el lugar i hacia la escuela j , el número de estudiantes blancos $f(l'_i, s'_j)$ que se asignan desde el lugar i hacia la escuela j , u_j la cantidad por la que el número de estudiantes negros asignados a la escuela j excede \bar{b}_j (el número deseado de estudiantes negros asignados a la escuela j) y v_j la cantidad por la que el número de estudiantes blancos asignados a la escuela j excede $\bar{K}_j - \bar{b}_j$. Los parámetros b_i y $K_i - b_i$ representan el flujo neto requeridos por los lugares l_i y l'_i , respectivamente; los arcos (l_i, s_j) y (l'_i, s'_j) tienen capacidad infinita. Para cada j , se conectan los nodos s_j y s'_j , el flujo en los arcos (s'_j, s_j) representa el número total de estudiantes negros y blancos asignados a la escuela j , sus capacidades están dadas por $[\bar{p}\bar{K}_j] - \bar{b}_j$ y $\bar{b}_j - [\bar{p}\bar{K}_j]$, respectivamente; dado que cada escuela debe satisfacer cotas inferiores y superiores en el número de estudiantes blancos y negros que acepta. Los parámetros \bar{b}_j y $\bar{K}_j - \bar{b}_j$ representan el flujo neto requerido dentro de s_j y s'_j , respectivamente. El costo por unidad de flujo sobre los arcos (l_i, s_j) y (l'_i, s'_j) es d_{ij} y el costo por unidad de flujo sobre los arcos (s_j, s'_j) y (s'_j, s_j) es cero.

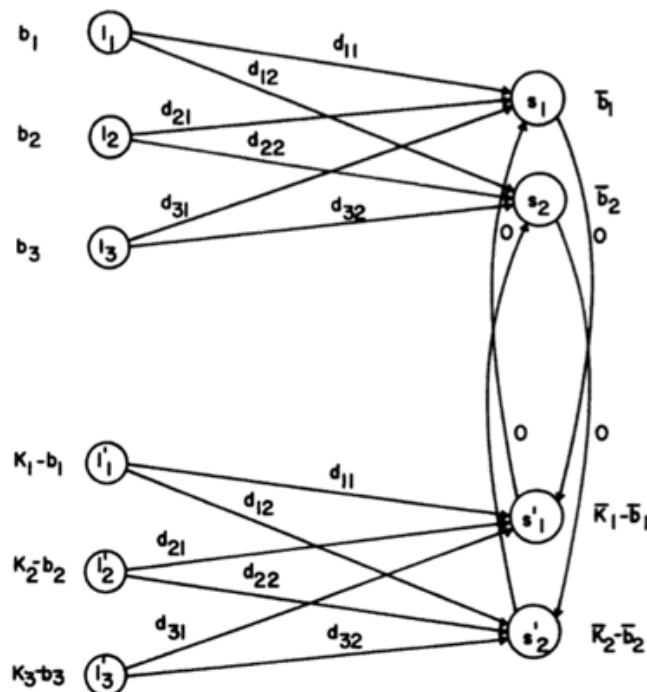


Figura 2.6: Red para el problema de balance racial en escuelas.

Fuente: Belford, P y Ratliff, H.

El modelo matemático se lo puede escribir de la siguiente manera:

$$\text{mín} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^S d_{ij} f(l_i, s_j) + f(l'_i, s'_j), \quad \forall i = 1, 2, \dots, L$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^S f(l'_i, s'_j) = b_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, L$$

$$\sum_{i=1}^L f(l'_i, s'_j) - u_j + v_j = \bar{b}_j, \quad \forall j = 1, 2, \dots, S$$

$$\sum_{j=1}^S f(l''_i, s''_j) = K_i - b_i, \quad \forall i = 1, 2, \dots, L$$

$$\sum_{i=1}^L f(l''_i, s''_j) - v_j + u_j = \bar{K}_j - \bar{b}_j, \quad \forall j = 1, 2, \dots, S$$

$$0 \leq f(l'_i, s'_j), \quad \forall i = 1, 2, \dots, L; \forall j = 1, 2, \dots, S$$

$$0 \leq f(l''_i, s''_j), \quad \forall i = 1, 2, \dots, L; \forall j = 1, 2, \dots, S$$

$$0 \leq u_j \leq [\bar{p}K_j - \bar{b}_j], \quad \forall j = 1, 2, \dots, S$$

$$0 \leq v_j \leq [\bar{b}_j - p\bar{K}_j], \quad \forall j = 1, 2, \dots, S$$

Las restricciones aseguran que cada estudiante sea asignado a una sola escuela, respetando las capacidades de las instituciones y las cotas inferior y superior que permiten una asignación con balance racial; sin esta última restricción el problema podría ser formulado como un problema de asignación estándar. El modelo desarrollado por Belford y Ratliff se aplicó para cada uno de los niveles educativos (elemental, media y alta) del sistema escolar de Gainesville–Florida. El distrito fue dividido en cuartos de cuadras (millas cuadradas) para lograr la localización de cada estudiante, las distancias fueron calculadas aproximadamente usando una distancia rectilinear desde el centro de cada localidad hasta cada escuela.

2.6.2 MODELO DE McKEOWN y WORKMAN

Estudios posteriores en la asignación de estudiantes a centros escolares surgen de los altos costos asociados al transporte (gasolina) que se incurre en el uso de los buses escolares. Mckeown y Workman (1976) [21] son los que identifican este problema en distritos escolares no urbanos y basándose en un estudio piloto, intentan asignar estudiantes a escuelas de manera que el total de millas recorridas por los estudiantes en el distrito sea el mínimo posible. Para ello proponen en primer lugar, agrupar centros de demanda, es decir agrupar a los estudiantes por su ubicación geográfica y escogieron las paradas de buses como centros de demanda con el propósito de disminuir el número total de restricciones que permita llevarlo al problema a un nivel manejable. Segundo, trabajar únicamente con las escuelas ya existentes bajo un enfoque de k -centros considerando sus limitaciones sobre el número de estudiantes que cada una de ellas pueden asistir, por lo tanto no centran su estudio a la localización de éstos centros de servicio educativo.

La formulación matemática de este problema es la siguiente:

$$\begin{aligned} & \text{mín} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j \in P_i} S_i F_{ij} X_{ij} \\ & \text{sujeto a} \\ & \quad \sum_{j \in P_i} x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, n \\ & \quad x_{jj} - x_{ij} \geq 0, \quad j \in P_i, \quad i = 1, \dots, n \\ & \quad \sum_{i=1}^n S_i X_{ij} \leq b_j, \quad j = 1, \dots, m \\ & \quad x_{ij} \geq 0, \quad j \in P_i, \quad i = 1, \dots, n. \end{aligned}$$

Donde n es el número de paradas de bus, m es el número de escuelas, F_{ij} la distancia desde la parada de bus i hasta la escuela j , b_j es la capacidad de la

escuela j , X_{ij} representa la fracción de estudiantes en la parada i que asisten a la escuela j , P_i es el conjunto de escuelas a las que podría ser asignado el estudiante de la parada de bus j y S_i el número de estudiantes de la parada de bus.

2.6.3 MODELO DE ELIZONDO

Existen trabajos que han tratado casos con distritos escolares grandes y para ello los investigadores con frecuencia emplean técnicas de agrupamiento de estudiantes tal y como en el modelo anterior, que permitan reducir el tamaño del problema. Sin embargo, Elizondo (1993) [12] al respecto manifiesta que su uso genera ciertas desventajas pues limita la capacidad de considerar otros criterios de asignación como son: el nivel educativo y etnia de los estudiantes, además implica que la toma decisiones parciales deban hacerse de acuerdo a como se agrupen los estudiantes e incluso considera que transforman al problema en uno difícil de modificar. Por estas razones, Elizondo decide formular un modelo con alrededor de 20 millones de variables y cerca de 110.000 restricciones para el Distrito Escolar Independiente de Houston realizando una asignación individual de estudiantes que minimiza la distancia total recorrida; dadas las dimensiones del caso se enfoca en la evaluación de heurísticas computacionales para resolver el problema de asignación a gran escala.

Su formulación matemática es la siguiente:

$$\text{mín } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq 1, \quad \forall j$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq p_i, \quad \forall i$$

$$0 \leq x_{ij} \leq 1, \quad \forall i, j$$

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{si el estudiante } j \text{ es asignado a la escuela } i \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

En el modelo c_{ij} corresponde a la distancia recorrida y p_i es la capacidad de la escuela i . Formalmente el problema de interés adopta las características de un problema de semi–asignación a gran escala, cuyo objetivo es asignar n estudiantes a m escuelas.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

Este capítulo describe la construcción de los modelos de flujo de costo mínimo para el problema de asignación de cupos para los estudiantes aspirantes a octavo año de Educación General Básica en el sistema de educación pública del Distrito Metropolitano de Quito. Son cuatro escenarios con criterios de selección que permiten satisfacer los requerimientos de las autoridades educativas y de los estudiantes.

Para dar solución y evaluar el desempeño de cada uno de ellos, se generaron supuestos razonables para lograr suplir aquella información no disponible. Los modelos de flujo de costo mínimo se resolvieron usando los programas especializados mcf-1.3 y SCIP 1.2.0.

3.1 MODELOS DE FLUJO DE COSTO MÍNIMO PARA LA ASIGNACIÓN DE CUPOS EN EL DMQ

Si el objetivo es encontrar una asignación de estudiantes a instituciones educativas respetando la disponibilidad de cupos de cada una de ellas y al menor costo posible, el problema de asignación de cupos escolares para estudiantes promovidos octavo año de EGB en el DMQ puede formularse como un modelo de flujo de costo mínimo, considerándose una red formada por nodos y arcos con capacidades y costos.

La Figura 3.1 es la red asociada a los cuatro escenarios propuestos en este capítulo. Se entiende que en la red, dado un conjunto de estudiantes que aspiran

un cupo para octavo año de EGB en alguno de los centros educativos distritales, que tienen una capacidad determinada para el grado de interés; debe asignarse a cada estudiante a una institución cercana a su zona geográfica de residencia, de modo que se minimice la movilidad total de los estudiantes a las instituciones.

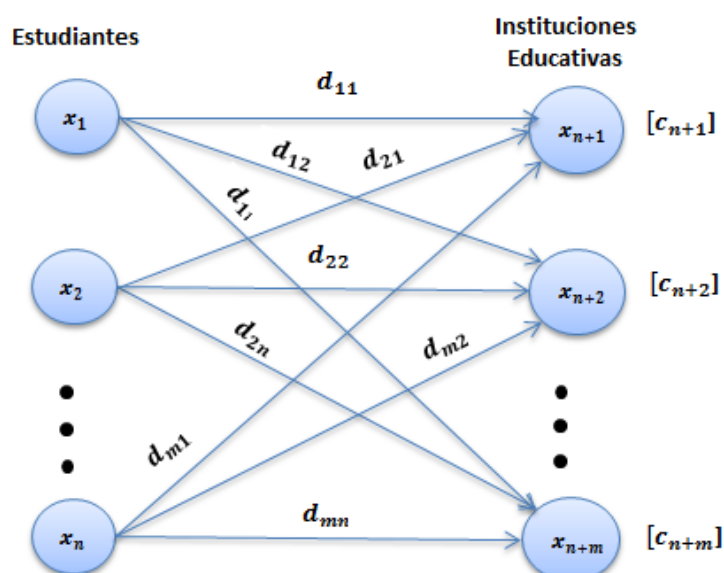


Figura 3.1: Red para el problema de asignación de cupos para octavo año de EGB en el DMQ.

Fuente: H. Lieberman, Investigación de Operaciones.

Elaborado por: Autora.

Cada uno de los modelos tiene los siguientes componentes:

- **Demanda educativa:** Son los entes a ser asignados, en este caso los estudiantes promovidos a octavo año de EGB que residen en una determinada zona geográfica. En este trabajo, al no tener información sobre la zona geográfica se asume que el estudiante es de la zona donde se ubica la institución en la que cursó séptimo año de EGB. Se los nota por x_1, x_2, \dots, x_n .
- **Oferta educativa:** Son los entes que reciben la asignación; es decir, las instituciones educativas de sostenimiento fiscal que ofertan educación escolarizada de tipo regular y popular permanente, con un registro de su ubicación en una determinada zona geográfica. Se los nota por $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}$.

- Costo: El hecho de asignar un estudiante a una determinada institución educativa tiene un costo asociado que puede depender de varios factores y puede definirse en términos monetarios, de tiempo, distancia, entre otros. En este caso es la distancia estimada que existe entre el lugar de residencia del estudiante y el lugar de ubicación del instituto, y se nota por d_{ij} .

Formalmente cada modelo se definirá mediante:

- variables de decisión x_{ij} de naturaleza binaria; es decir, cada una tomará valores 1 o 0 dependiendo si el estudiante i recibe o no el cupo escolar en la institución j ;
- una función objetivo que tomará ciertas variantes según el escenario propuesto, y
- las restricciones propias del modelo dirigidas a las funciones de capacidad y de costo sobre los arcos, sin olvidar que se debe garantizar la asignación de un sólo cupo a cada estudiante.

En este contexto y de acuerdo a los requerimientos que presenta el sistema educativo (estudiantes y autoridades), se han generado los siguientes cuatro escenarios con sus respectivos modelos de flujo de costo mínimo que permiten resolver exitosamente el problema.

3.1.1 ESCENARIO 1

El primer escenario modela una asignación que prioriza la movilidad de los estudiantes, así lo establece las disposiciones del Ministerio de Educación en su nuevo modelo de gestión, pues el objetivo es que el estudiante recorra la mínima distancia desde su hogar hasta el centro educativo asignado. Se desea que cada estudiante permanezca en su circuito educativo y de no existir instituciones educativas al momento en su circuito, entonces que el estudiante permanezca al menos en su distrito.

El modelo matemático de asignación de cupos, con n estudiantes que aspiran ingresar a octavo año de EGB en el DMQ, y m instituciones educativas que ofrecen c_j cupos, para $j = 1, 2, \dots, m$, es el siguiente:

PFCM – 1

$$\text{mín} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} x_{ij} \quad (3.1)$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = c_j, \quad \forall j = 1, \dots, m \quad (3.3)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m \quad (3.4)$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el estudiante } i \text{ es asignado a la institución } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

En el modelo, la restricción (3.2) asegura que todos los estudiantes serán asignados solamente a un centro educativo y la restricción (3.3) señala que para cada centro se respetará el número máximo de cupos ofertados. La función objetivo (3.1) garantiza que el costo total de la asignación es mínimo; es decir, el desplazamiento total de los estudiantes hacia las instituciones educativas será el mínimo posible. La explicación dada de las restricciones en este párrafo aplica para los siguientes tres escenarios.

3.1.2 ESCENARIO 2

El escenario dos considera explícitamente la condición que, en lo posible, los estudiantes permanezcan en su circuito, o al menos en su propio distrito. Con el fin de incluir esta condición en la función objetivo, se aumentó una penalización del treinta por ciento en el valor de la distancia d_{ij} . Es decir:

$$\hat{d}_{ij} = \begin{cases} 1,3d_{ij} & i \neq j \\ d_{ij} & i = j \end{cases}$$

Esto es, $\hat{d}_{ij} = 1,3d_{ij}$, siempre que i y j se encuentren en diferentes distritos, caso contrario se mantiene el valor de la distancia original.

El modelo matemático de asignación de cupos, con n estudiantes que aspiran ingresar a octavo año de EGB en el DMQ, y m instituciones educativas que ofrecen c_j cupos, para $j = 1, 2, \dots, m$, es el siguiente:

PFCM – 2

$$\text{mín} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \hat{d}_{ij} x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = c_j, \quad \forall j = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el estudiante } i \text{ es asignado a la institución } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

3.1.3 ESCENARIO 3

A diferencia de los dos escenarios descritos anteriormente que resuelven el problema de asignación de cupos escolares para todos los estudiantes del DMQ en conjunto con todos los centros educativos existentes, el escenario tres, que resulta de un pedido expreso de la Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito, ofrece una solución para el problema en forma individual para los ocho distritos que conforman el DMQ, y cumple el criterio que la movilidad de

los estudiantes a sus instituciones sea la mínima posible, tal como lo manifiesta el Nuevo Modelo de Gestión del Ministerio de Educación.

El modelo matemático de asignación de cupos escolares para cada distrito k con $k = 2, 3, 4, \dots, 9$, con $n_2, n_3, n_4, \dots, n_9$ estudiantes que aspiran ingresar a octavo año de EGB en cada uno de los ocho distritos del DMQ, y $m_2, m_3, m_4, \dots, m_9$ instituciones educativas que ofrecen c_j cupos localizadas en cada distrito, es el mismo que se formuló en el escenario uno; esto es:

PFCM – 3

$$\text{mín} \sum_{i=1}^{n_k} \sum_{j=1}^{m_k} d_{ij} x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^{m_k} x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n_k$$

$$\sum_{i=1}^{n_k} x_{ij} = c_j, \quad \forall j = 1, \dots, m_k$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n_k, \forall j = 1, \dots, m_k$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el estudiante } i \text{ es asignado a la institución } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

3.1.4 ESCENARIO 4

En los escenarios uno, dos y tres se da cumplimiento estricto de las disposiciones establecidas por las autoridades educativas. En el escenario cuatro se pretende formular un modelo de optimización que cumpla también las expectativas de los estudiantes y padres de familia incluyendo dos criterios adicionales que son: las preferencias de los estudiantes por determinadas instituciones educativas consideradas emblemáticas y su rendimiento académico en niveles anteriores (meritocracia).

Este escenario donde se propone atender las preferencias de los alumnos de acuerdo a su rendimiento académico, permitiendo a aquellos estudiantes de más alto rendimiento tengan mayor opción de ser asignados a las instituciones de su preferencia, se traduce, a encontrar una asignación que maximiza la preferencia global de los estudiantes, equivalente a minimizar la resistencia social¹.

Con lo que el modelo matemático de asignación de cupos, con n estudiantes que aspiran ingresar a octavo año de EGB en el DMQ, y m instituciones educativas que ofrecen c_j cupos, para $j = 1, 2, \dots, m$, es el siguiente:

PFCM – 4a

$$\text{máx} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = c_j, \quad \forall j = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el estudiante } i \text{ es asignado a la institución } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

Para este modelo se define $p_{ij} = f_{ij} n_i$; esto es, el producto entre el factor de preferencia f_{ij} del estudiante y su nota promedio n_i en séptimo año de EGB.

El modelo *PFCM – 4a* no toma en cuenta la movilización de los estudiantes, por lo que no estaría dentro de los intereses y planificación de la Subsecretaría

¹ Resistencia social hace referencia a las acciones y reacciones que tienen algunos padres de familia en rechazo u oposición a los cupos asignados por las autoridades educativas.

de Educación del Distrito Metropolitano de Quito, así que se propone una modificación en la función objetivo, de manera que considere simultáneamente la movilización y las preferencias, dando mayor peso a la movilidad (lado izquierdo de la función objetivo). Con esto se pretende aplicar el criterio de movilidad de una forma menos estricta, tomando en consideración la opinión de los estudiantes y de los padres de familia.

El modelo matemático de asignación de cupos para este caso, es el mismo que se ha formulado en este escenario con la siguiente variación en la función objetivo:

PFCM – 4b

$$\text{mín } \alpha \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} x_{ij} - \beta \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m p_{ij} x_{ij}$$

sujeto a

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \quad \forall i = 1, \dots, n$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = c_j, \quad \forall j = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}, \quad \forall i = 1, \dots, n, \forall j = 1, \dots, m$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si el estudiante } i \text{ es asignado a la institución } j \\ 0 & \text{caso contrario} \end{cases}$$

3.2 DATOS DE ENTRADA PARA LOS MODELOS DE OPTIMIZACIÓN

Para la aplicación de los modelos anteriormente descritos, es indispensable conocer la demanda educativa, oferta educativa y el costo asociado a la asignación. A continuación se describe el origen de la información a usarse como insumos que constan como elementos de los modelos al inicio de este capítulo.

3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA Y OFERTA EDUCATIVA

Se pretende caracterizar la demanda y la oferta educativa a nivel distrital y circunscripta de acuerdo a la información suministrada por la Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito – SEDMQ, que son: el Censo 2010 y el Archivo Maestro de Instituciones Educativas – AMIE² [22]. Para estimar la demanda se presentan dos alternativas, esto con el propósito de marcar sus diferencias y determinar cuál de ellas conviene utilizar como insumo de los modelos de optimización.

El primer método, se explica por el archivo “CENSO 2010” con los niños que tienen once años, edad escolar para ingresar a octavo año de EGB; además del mismo Censo, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo determinó que de la población en edad escolar, el 74.2% ingresa al sistema público [17]. Para el segundo método, se considera del “AMIE 2011 - 2012 FIN” el número de estudiantes que al momento se encuentran cursando séptimo año de EGB en instituciones educativas fiscales, fiscomisionales y municipales que ofertan educación escolarizada de tipo regular y popular permanente³; y, por tanto quienes necesitarían un cupo para el siguiente año lectivo, a esta cantidad se suma un 10% con el objetivo de incluir factores como cambios de domicilio, migración, cambios de planteles privados a públicos, entre otros, este porcentaje fue sugerido por las autoridades de la SEDMQ.

En ese sentido, en las tablas que a continuación se presentan para cada distrito, la columna **Edad escolar** hace referencia a los niños que de acuerdo al último

²El AMIE es un archivo excel que reúne información, de planteles públicos y privados, organizado por tipo de educación, niveles educativos y sostenimiento, a su vez agrupada por categorías y variables relacionadas con los recursos humanos: alumnos, docentes y administrativos; oferta educativa e infraestructura física, así como su ubicación geográfica.

³La LOEI [18] en su capítulo quinto, establece que el sistema educativo ofrece dos tipos de educación: escolarizada y no escolarizada. La primera, comprende la Educación Regular, Educación Especial, Educación Popular Permanente Escolarizada y Formación Artística; mientras que la segunda, comprende la formación que procura el mejoramiento profesional a través de programas especiales de enseñanza y difusión mediante iniciativas públicas y privadas.

censo estarían con edad para ingresar a octavo año de EGB, la siguiente columna **Sistema público** indica el 74.2% de niños en edad escolar que ingresarían a centros educativos públicos, y en la última columna están los estudiantes de séptimo año de EGB de acuerdo al registro del AMIE.

Por otro lado, el estudio de la oferta educativa resulta también del archivo “AMIE 2011 - 2012 FIN”, de éste se determinó el número de instituciones de sostenimiento fiscal que ofertan educación escolarizada de tipo regular y popular permanente ubicadas en todo el Distrito Metropolitano de Quito; se tiene además su ubicación hasta el nivel de parroquias. La capacidad que cada institución dispone para octavo año de EGB no se encuentra explícita por lo que se pretende estimarla con el número de estudiantes que se encuentran cursando actualmente octavo año de EGB.

3.2.1.1 Distrito 2

Formado por cuatro parroquias ubicadas al noreste del DMQ: LLano Chico, Calderón, Carapungo y Guayllabamba.

En la tabla 3.1, de acuerdo a la información obtenida en el Censo 2010, se tiene que en este distrito hay aproximadamente 3.680 niños con edad para ingresar a octavo año de EGB, distribuidos en los cuatro circuitos con el 23, 22, 47 y 9%, respectivamente; de ellos, se estima que, 2.731 estudiantes accederían a una educación pública. Asimismo, se calcula sean 2.516 niños que al momento se encuentran cursando séptimo año de EGB en las diferentes instituciones de la zona, automáticamente ellos necesitarían un cupo para el siguiente año lectivo.

En el Archivo Maestro de Instituciones Educativas se encontró que en el distrito se ubican 18 instituciones educativas de sostenimiento fiscal que con 534 docentes imparten educación escolarizada de tipo regular y popular permanente a alrededor de 14.445 alumnos, 2.082 de ellos cursan octavo. En el siguiente mapa se puede observar la actual división circuital y además cómo se encuentran

distribuidas en esta zona todas las instituciones fiscales. Aquellos puntos color turquesa, de aquí en adelante, corresponden a los planteles que disponen cupos escolares para octavo año de EGB.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	836	620	406
C2	794	589	603
C3	1.724	1.279	1.179
C4	326	242	328
TOTAL	3.680	2.731	2.516

Tabla 3.1: Distrito 2: demanda estimada para octavo año de EGB.
Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

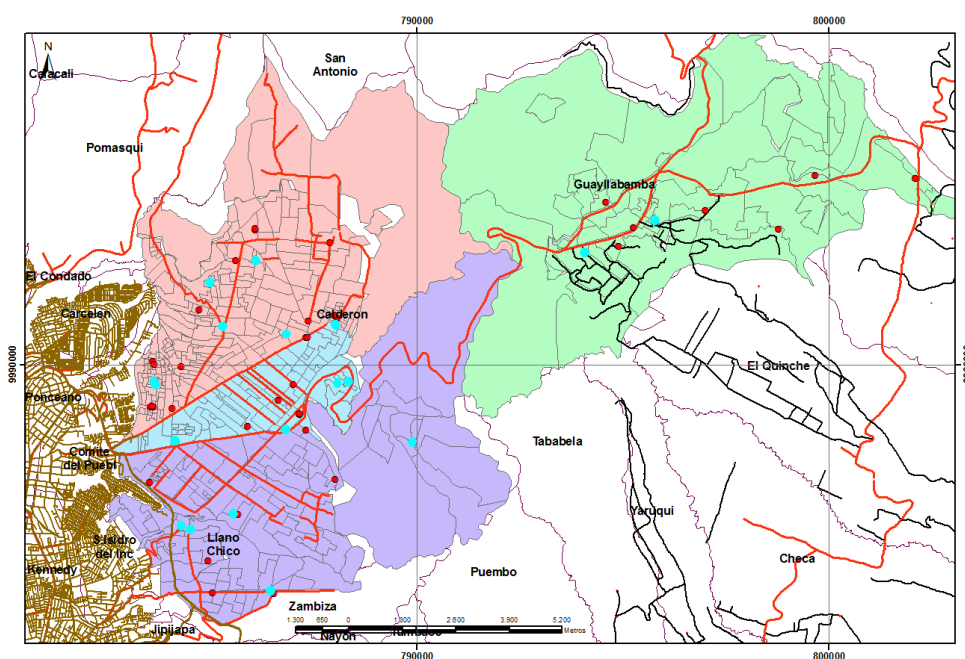


Figura 3.2: Distrito 2: colegios que ofrecen octavo año de EGB.

3.2.1.2 Distrito 3

Las parroquias que integran el distrito son: Puéllaro, Perucho, Chavezpamba, Atahualpa, San José de Minas, Nono, El Condado, Cotacollao, Ponceano, Calacalí, San Antonio, Pomasqui, Carcelén y Comité del Pueblo.

El censo realizado en el 2010, permite estimar que son aproximadamente 6.865

niños que al momento ingresarían a octavo año de EGB, la mayoría de ellos se ubican en los circuitos 4, 5 y 6 (Nono, El Condado, Cotocollao, Ponceano, Calacalí y San Antonio) con el 29, 19 y 11 %, respectivamente. El número de niños disminuye a 5.094, al considerarse que el 74.2 % de ellos estudian en instituciones educativas públicas. En la Tabla 3.2 es posible también verificar que, de acuerdo al AMIE, en el distrito se encontrarían aproximadamente 3.952 alumnos cursando séptimo año de EGB.

En cuanto al número de centros educativos que ofertan educación básica, son 27 las que imparten una educación escolarizada con 972 profesores a más de 23.653 estudiantes, de ellos 3.607 se encuentran al momento cursando octavo año de EGB. La Figura 3.3 muestra la distribución geográfica de los colegios localizados en este distrito.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	108	80	101
C2	71	53	74
C3	175	130	128
C4	1966	1459	719
C5	1333	989	1094
C6	756	561	695
C7	505	375	305
C8	987	732	609
C9	964	715	227
TOTAL	6865	5094	3952

Tabla 3.2: Distrito 3: demanda estimada para octavo año de EGB.
Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

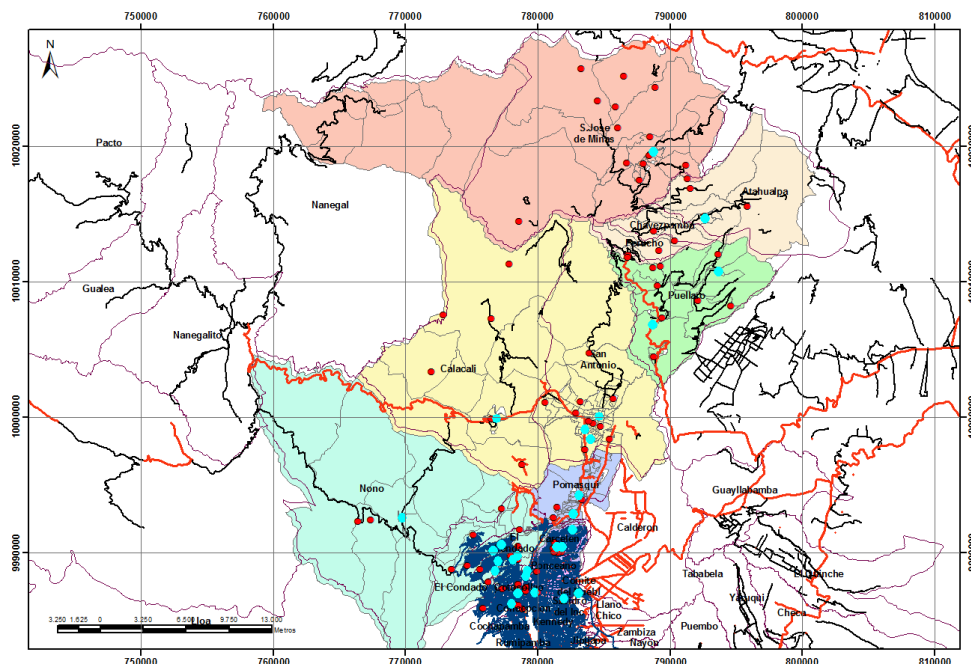


Figura 3.3: Distrito 3: colegios que ofertan octavo año de EGB.

3.2.1.3 Distrito 4

Constituido por las parroquias ubicadas en el centro del DMQ: Puengasí, Centro Histórico, La Libertad, San Juan e Itchimbía.

Del censo 2010, se calcula aproximadamente que serían 4.177 niños con 11 años de edad los que albergan este distrito, registrándose una gran concentración de ellos en los circuitos 1, 3 y 4 (Puengasí, La Libertad y San Juan) con el 30, 23 y 24 %, respectivamente. Esta cantidad se reduce a 3.099 estudiantes, si se considera que el 74.2% del grupo ingresarían al sistema educativo público.

En la Tabla 3.3 se incluye el número de niños que cursan al momento séptimo año de EGB en instituciones ubicadas dentro del distrito, de acuerdo al AMIE, se trata de 4.551 alumnos los que necesitarían un cupo para el siguiente año escolar.

En cuanto a los centros educativos y su disponibilidad de cupos, en el distrito se localizan 27 e imparten educación escolarizada a 23.871 estudiantes con alrededor de 1.186 profesores; 3.934 de ellos cursan octavo año de EGB. En la

figura 3.4 se puede apreciar la actual división circuital y la distribución geográfica de las instituciones fiscales correspondientes a este distrito, aquellos puntos color turquesa son las instituciones que ofertan octavo año de EGB.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	1269	942	392
C2	375	278	1200
C3	955	709	837
C4	1006	746	1310
C5	572	424	812
TOTAL	4177	3099	4551

Tabla 3.3: Distrito 4: demanda estimada para octavo año de EGB.
Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

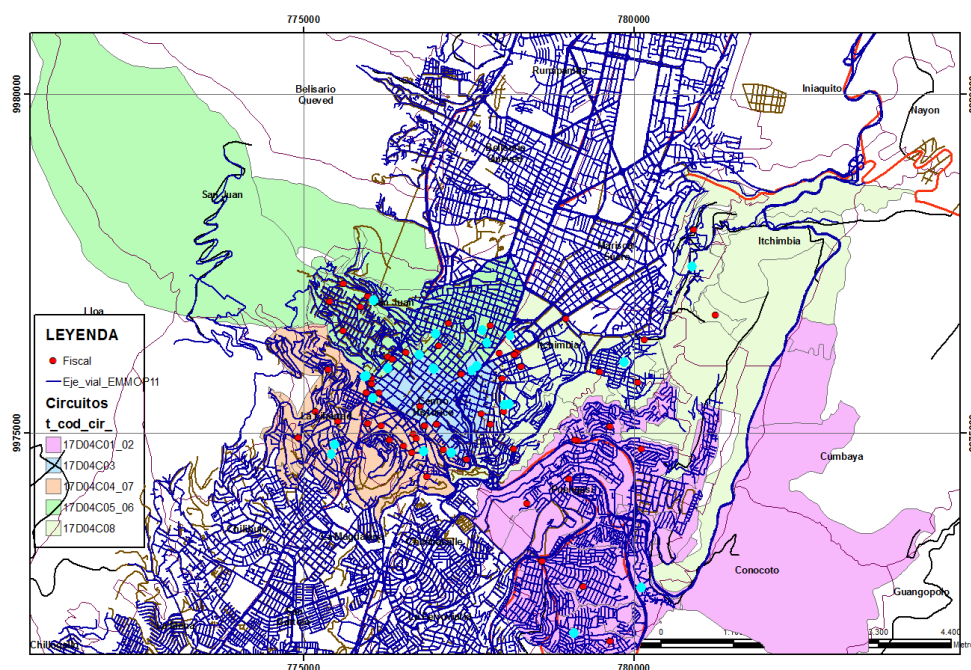


Figura 3.4: Distrito 4: colegios que ofertan octavo año de EGB.

3.2.1.4 Distrito 5

Acoge a las parroquias ubicadas en el norte del DMQ, como son La Concepción, Rumipamba, Iniaquito, Mariscal Sucre, Belisario Quevedo, La Kennedy, San Isidro del Inca, Jipijapa, Zábiza, Nayón y Cochapamba.

El censo efectuado en el 2010, estima que son alrededor de 5.820 niños con 11 años de edad los que habitan en este distrito, con una marcada concentración poblacional en el circuito 4 (La Keneedy, San Isidro del Inca, Jipijapa y Zábiza). La Tabla 3.4, incluye el número de estudiantes que según estadísticas del INEC, 4.318 son quienes accederían a un cupo en instituciones educativas públicas. En la última columna de la misma tabla se considera los 4.456 niños que cursan al momento séptimo año de EGB, según el AMIE, y son posibles alumnos de octavo año de EGB.

En el distrito existen 36 planteles de sostenimientos fiscal que imparten educación escolarizada con 2.007 profesores a más de 43.640 alumnos, 5.744 del total de estudiantes cursan octavo año de EGB. La Figura 3.5 muestra la división circuital y la distribución geográfica de las instituciones fiscales localizadas en este distrito.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	711	528	722
C2	519	385	1203
C3	700	519	569
C4	1948	1445	1234
C5	720	534	289
C6	1222	907	439
TOTAL	5820	4318	4456

Tabla 3.4: Distrito 5: demanda estimada para octavo año de EGB.

Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

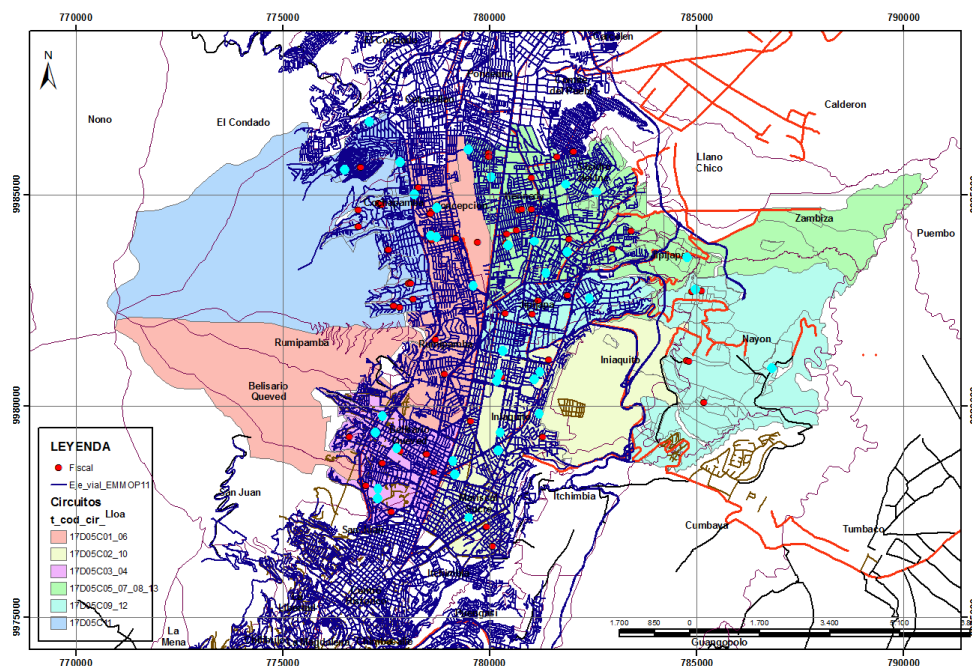


Figura 3.5: Distrito 5: colegios que ofertan octavo año de EGB.

3.2.1.5 Distrito 6

Conformado por las parroquias ubicadas en el sur del DMQ: Chilibulo, La Magdalena, San Bartolo, Chimbacalle, La Ferroviaria, La Argelia, Solanda, Lloa y La Mena.

Registros del Censo 2010, identifican a un total de 8.240 niños con 11 años de edad que residen en el distrito; siendo el circuito 4 (Chimbacalle) el más poblado de la zona tras contar con 2.602 niños, calculándose que 6.114 del total, serían partícipes en el sistema educativo público, según el INEC. Finalmente la Tabla 3.5 incluye información del AMIE, para el caso se cuenta con 7.716 estudiantes cursando séptimo año de EGB en instituciones ubicadas en el distrito.

En este distrito se ubican 44 instituciones educativas impartiendo educación escolarizada en su mayoría educación básica a más de 56.632, de ellos 7.963 se encuentran cursando al momento octavo año de EGB. En la figura 3.6 se puede observar la división circuital del distrito y la distribución geográfica de las instituciones fiscales que en éste se encuentran.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	1468	1089	1773
C2	1118	830	1788
C3	641	476	859
C4	2602	1931	1628
C5	1464	1086	1249
C6	947	703	419
TOTAL	8240	6114	7716

Tabla 3.5: Distrito 6: demanda estimada para octavo año de EGB.

Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

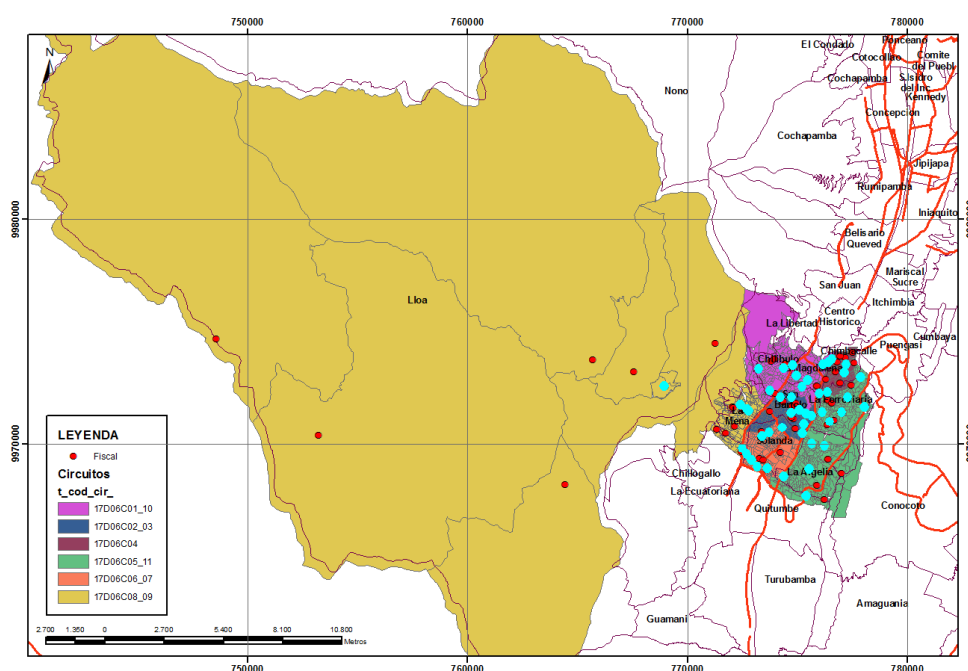


Figura 3.6: Distrito 6: colegios que ofrecen octavo año de EGB.

3.2.1.6 Distrito 7

Integran este distrito las siguientes parroquias: La Ecuatoriana, Chillogallo, Guamaní, Quitumbe y Turubamba.

La información obtenida del censo del 2010, permite identificar que son cerca de 7.079 niños con 11 años de edad los que albergan este distrito, registrándose una distribución del 37, 22 y 41 % en cada uno de los circuitos demarcados por la nueva división. Sin embargo, esta cantidad se reduce a 3.099 estudiantes, si se considera que el 74.2% del grupo ingresarían al sistema educativo público.

Además, si se asume que los niños que cursan al momento séptimo año de EGB en instituciones ubicadas dentro del distrito, residen en esta zona; en la Tabla 3.3, es posible verificar que de acuerdo al AMIE se trata de 4.551 alumnos los que necesitarían un cupo para el siguiente año.

En lo que a los centros educativos y disponibilidad de cupos se refiere, en el distrito se localizan 16 de sostenimiento fiscal que imparten educación escolarizada a 15.151 estudiantes con alrededor de 518 profesores; 1.915 de ellos cursan octavo año de EGB. En la figura 3.7 se puede apreciar a más de la división circuital, la distribución geográfica de las instituciones fiscales correspondientes a este distrito.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	2608	1935	1182
C2	1551	1151	716
C3	2920	2167	1553
TOTAL	7079	5252	3451

Tabla 3.6: Distrito 7: demanda estimada para octavo año de EGB.
Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

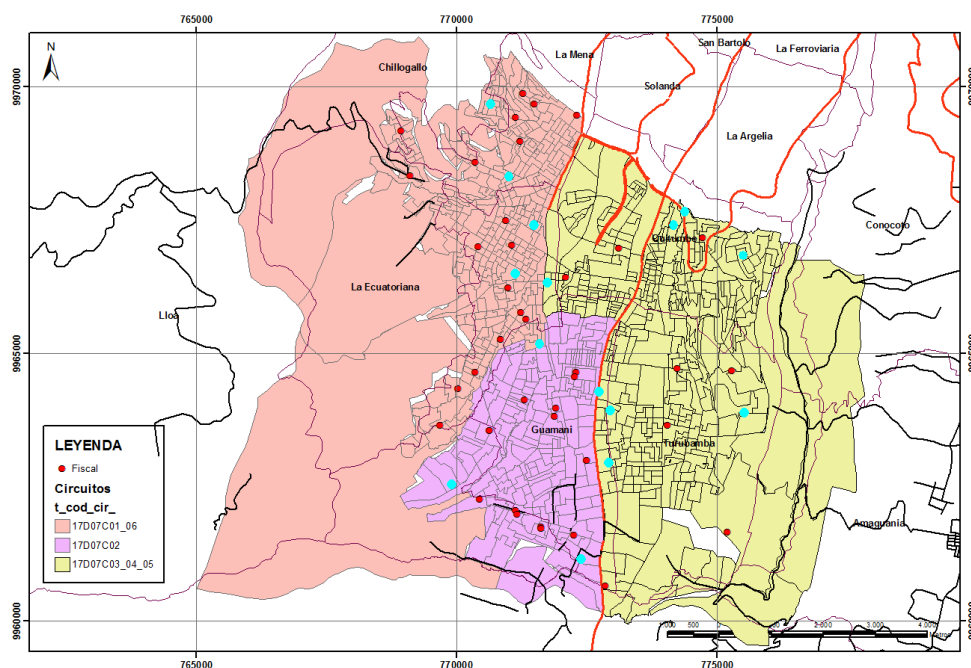


Figura 3.7: Distrito 7: colegios que ofertan octavo año de EGB.

3.2.1.7 Distrito 8

Formado por las parroquias de Conocoto, Pintag, Amaguaña, Guangopolo, Alangasí y La Merced, ubicadas en el sureste del DMQ.

De acuerdo a la información recolectada en el último Censo, se estima que la población son cerca de 3.311 niñas y niños con 11 años de edad los que habitan en este distrito, registrándose una gran concentración de ellos en el circuito 1 (Conocoto) con el 47 %. Sin embargo, esta cantidad se reduce a 2.457 estudiantes, si se considera que el 74.2 % del grupo ingresarían al sistema educativo público. Además, si se asume que los niños que cursan al momento séptimo año de EGB en instituciones ubicadas dentro del distrito, residen en esta zona; en la Tabla 3.7, es posible verificar que de acuerdo al AMIE se trata de 2.091 alumnos los que necesitarían un cupo para el siguiente año en el distrito 8, de igual forma esta cantidad incluye el 10 % sugerido por las autoridades educativas.

En el Archivo Maestro de Instituciones Educativas se encontró que en este distrito se ubican 17 instituciones educativas de sostenimiento fiscal que con 396 docentes imparten educación escolarizada de tipo regular y popular permanente a alrededor de 8.682 alumnos, 1.136 de ellos cursan octavo. En la Figura 3.8 se puede ver como se encuentran distribuidas en la zona todas las instituciones fiscales.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	1548	1149	711
C2	385	286	405
C3	694	515	517
C4	684	508	458
TOTAL	3311	2456	2091

Tabla 3.7: Distrito 8: demanda estimada para octavo año de EGB.
Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

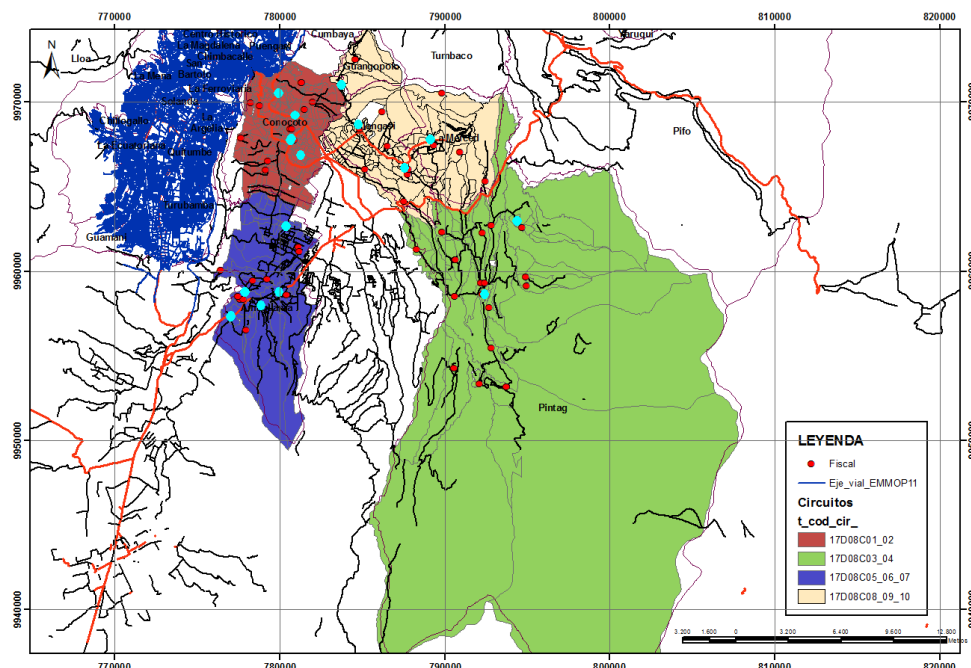


Figura 3.8: Distrito 8: colegios que ofertan octavo año de EGB.
Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

3.2.1.8 Distrito 9

Formado por las parroquias de Tumbaco, Cumbayá, Puembo, Pifo, Tababela, Yaruquí, El Quinche y Checa, ubicadas en DMQ.

De acuerdo a la información obtenida en el Censo 2010, aproximadamente en el Distrito 9, serían 3.250 niños que tienen la edad para ingresar a octavo año de EGB, distribuidos en los cinco circuitos con el 30, 17, 22, 14 y 17 %, respectivamente. Sin embargo, siguiendo las estadísticas presentadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo (INEC), como resultado del Censo 2010 señalan que de la población en edad escolar el 74.2 % ingresa al sistema público. Así, se estima que el número de estudiantes que accederán a una educación pública en este distrito sean 2.411.

En la tabla 3.8, también se aprecia el número de alumnos que al momento se encuentran cursando séptimo año de EGB, quienes automáticamente necesitarían un cupo para el siguiente año lectivo. Se trata de 2.418 niños que estudian en centros educativos ubicados en el distrito.

En el distrito 9 se ubican 27 instituciones educativas impartiendo educación escolarizada en su mayoría educación básica a más de 19.062, de ellos 2.418 se encuentran cursando al momento octavo año de EGB. En la figura 3.9 se puede apreciar la distribución geográfica de las insticiones fiscales correspondientes a este distrito.

Circuito	Número de estudiantes en:		
	Edad escolar	Sistema público	7mo año EGB
C1	969	719	899
C2	560	416	319
C3	711	528	649
C4	459	341	469
C5	551	409	503
TOTAL	3250	2411	2839

Tabla 3.8: Distrito 9: demanda estimada para octavo año de EGB.
Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

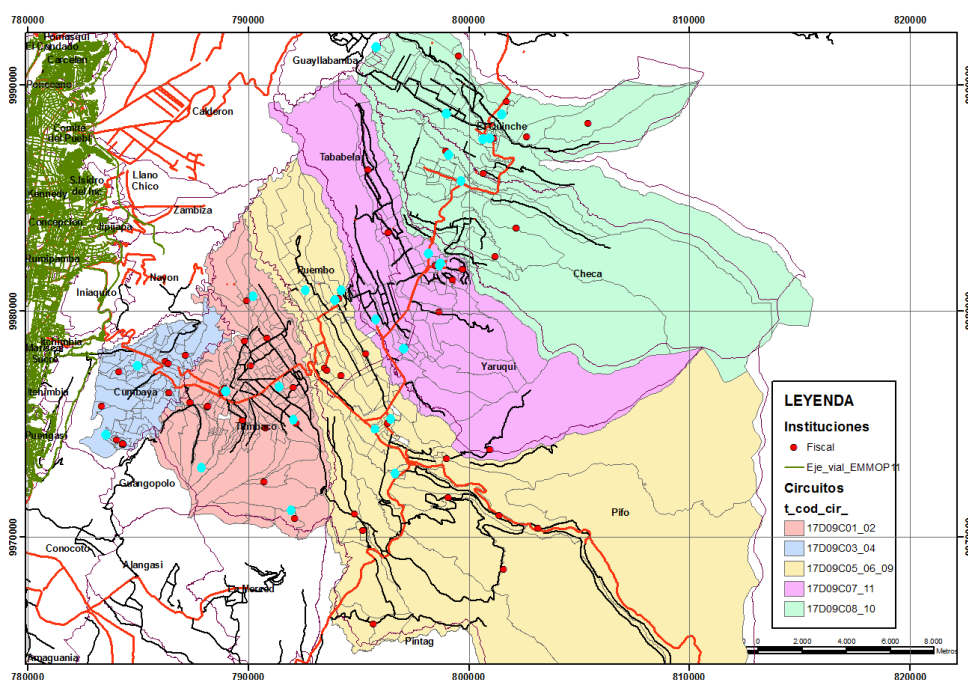


Figura 3.9: Distrito 9: colegios que ofertan octavo año de EGB.

3.2.1.9 Relación Demanda - Oferta educativa del DMQ

Los datos que describen la demanda educativa en cada uno de los distritos se contrastan en la Figura 3.10, su análisis segmentado por grado (séptimo año de EGB) y edad escolar (11 años), presenta diferencias significativas que reflejan de alguna manera el efecto que tienen los rezagos, deserciones en aquellos casos en los que la demanda estimada por edad se encuentra por debajo de la estimada por grado; y, modelos o proyectos de inserción escolar para aquellos en los que sucede lo contrario.

El primer tramo que corresponde a los circuitos del distrito 2, las estimaciones por grado y por edad no existen mayores diferencias; sin embargo, para el distrito 3 si las hay dado que según el grado, para los circuitos 8 (Nono, El Condado) y 13 (Comité del Pueblo) debieran ingresar a octavo año de EGB el 50 y 31 % de la población que tiene 11 años de edad, respectivamente.

En el distrito 4, se puede verificar que la demanda según la edad, en el circuito 15 (Centro Histórico) y 17 (San Juan) los niños que ingresarían a octavo año debieran ser el 23 y 57 % de aquellos que se encuentran cursando séptimo año de EGB en instituciones ubicadas dentro del distrito.

En el distrito 5, sucede lo mismo en el circuito 20 (Iñaquito, Mariscal Sucre), la demanda estimada por edad se encuentra muy por debajo de la estimada por grado con el 32 %; sin embargo, para el circuito 23 (Jipijapa, Nayón) el 54 % de la población que tiene 11 años y reside en este distrito ingresarían, según la estimación por grado, a octavo año de EGB.

En el distrito 6, se aprecian marcadas diferencias en los circuitos 25 (Chilibullo, La Madgalena) y 27 (Chimbacalle) en los que la demanda estimada por edad alcanza el 61 y 55 % respectivamente, de la estimada por grado. Mientras que en el distrito 7, sucede que la demanda estimada por edad supera a la estimada

por grado en sus tres circuitos. En los distritos 8 y 9, las dos formas de estimar la demanda no difieren de manera significativa.

Por lo expuesto, se considera apropiado utilizar la información disponible en el Archivo Maestro de Instituciones Educativas de manera que la demanda se encuentre dada por los estudiantes que al momento están cursando séptimo año de EGB; y la oferta, por aquellos que cursan octavo año de EGB.

En la Figura 3.11, se puede identificar el número de instituciones educativas que ofertan el año escolar de interés en el DMQ. Si bien es cierto la distribución responde a la densidad poblacional en edad escolar que presenta cada distrito, no considera criterios como son eficiencia y justicia espacial; es decir que, la localización de los centros educativos no es eficiente en la medida que el volumen global de desplazamientos que el conjunto de la demanda efectúa para utilizar las instalaciones, no es el mínimo posible; además que al tratarse de un servicio público, la ubicación de ciertos colegios con mayor preferencia por la población en determinadas zonas del DMQ apunta a una divergencia en sus condiciones de acceso con las políticas actuales.

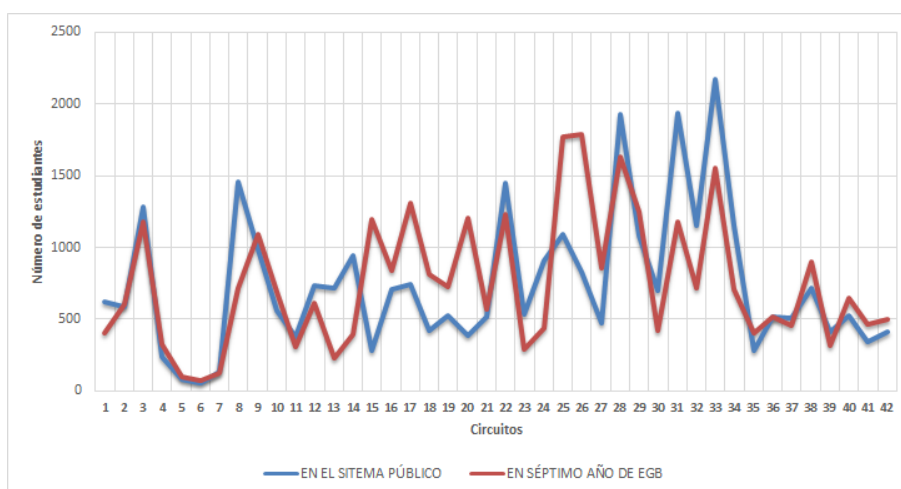


Figura 3.10: Demanda estimada para octavo año de EGB del DMQ.

Fuente: Archivo Maestro de Instituciones Educativas y Censo 2010.

Elaborado por: Autora.

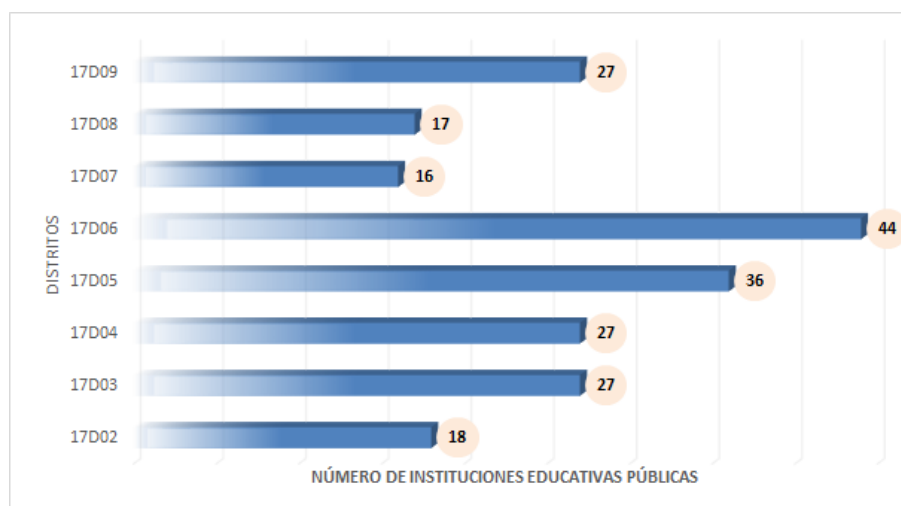


Figura 3.11: Oferta estimada para octavo año de EGB en el DMQ.

Fuente: Archivo Maestro de Instituciones Educativas.

Elaborado por: Autora.

La siguiente tabla resume la demanda y oferta para cada uno de los distritos del DMQ, que se utilizarán en el modelo de optimización. Aquí es importante enfatizar que tan sólo en los distritos 5 y 6 la oferta supera a la demanda, por lo que son 1.535 cupos que tendrán que ser asignados a estudiantes que residan en distritos vecinos de manera eficiente a fin de satisfacer en lo posible la demanda existente.

Distritos	Demanda	Oferta
D2	2.516	2.082
D3	3.952	3.607
D4	4.551	3.934
D5	4.456	5.744
D6	7.716	7.963
D7	3.451	1.915
D8	2.091	1.136
D9	2.839	2.418
TOTAL	31.572	28.799

Tabla 3.9: Oferta y demanda educativa estimadas por distrito en el DMQ.

Fuente: Archivo Maestro de Instituciones Educativas.

Del cuadro presentado podemos verificar que existe un déficit total de 2.773

cupos⁴. En este sentido, se recuerda que el objetivo de este proyecto será asignar eficientemente los 28.799 cupos disponibles, minimizando la movilidad total de los estudiantes, por lo que está fuera del alcance del mismo la búsqueda de cupos para los estudiantes que no se les ha sido asignado uno.

3.2.2 CÁLCULO DE LAS DISTANCIAS

El costo asociado a la asignación de cupos, está definido por la distancia recorrida del estudiante desde su hogar hasta la institución asignada y para ello es necesario conocer la ubicación geográfica de cada estudiante. Lamentablemente, no se poseen registros sobre la ubicación de ellos, como sí pasa con los centros educativos, por este motivo se asume que los estudiantes que están cursando séptimo año de EGB (demanda educativa) en una institución de una determinada zona geográfica, pertenecen o residen en esa misma zona.

A continuación se describen dos métodos para el cálculo de las distancias entre las zonas geográficas del estudiante y de la institución.

3.2.2.1 Distancias entre circuitos

El método consiste en determinar la distancias recorridas por medio del número de zonas que deben atravesar los estudiantes para llegar a la institución a la cual han sido asignados. Se lo aplicó para cada uno de los distritos a nivel de circuitos dado que en un inicio el material facilitado por la Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito fueron archivos por distritos.

A manera de ejemplo, se muestran las distancias calculadas para el distrito 8, dividido en cuatro circuitos y que acoge a seis parroquias. Siguiendo la lógica de cálculo y teniendo la Figura 3.12 como apoyo, se observa que para ir del circuito 1 al 2 es necesario cruzar 2 circuitos, en términos de zonas cruzadas la distancia entre el circuito 1 y el circuito 4 es 1. Asimismo, se aprecia que tanto la distancia entre los circuitos 2 y 3, como la distancia entre los circuito 3 y 4 es

⁴El Anexo B.1 despliega a mayor detalle la demanda y oferta educativa a nivel de los 42 circuitos y 63 parroquias del Distrito Metropolitano de Quito.

2, para ambos casos. El siguiente cuadro reúne las distancias estimadas para el distrito 8 ⁵.

	C1	C2	C3	C4
C1	0	2	1	1
C2	2	0	2	1
C3	1	2	0	2
C4	1	1	2	0

Tabla 3.10: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 8.

Fuente:Elaboración propia.

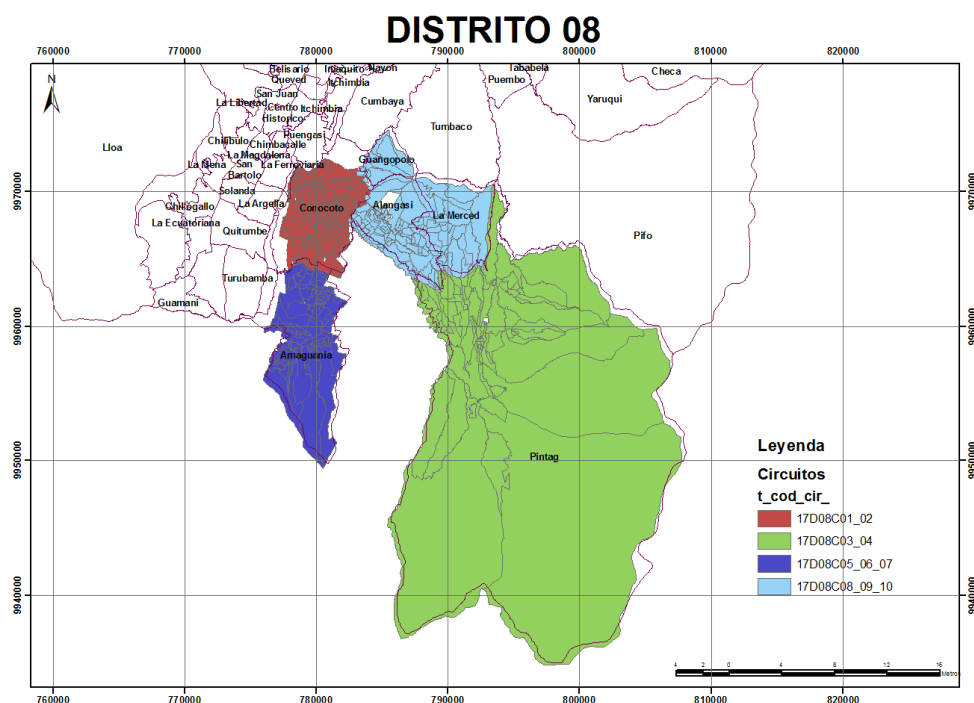


Figura 3.12: División circuital del Distrito 8 del DMQ.

3.2.2.2 Distancias entre parroquias

En una segunda entrega de información por parte de la Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito, se obtuvieron los mapas de cada uno de los distritos generados en un Sistema de Información Geográfica denominado ARCGIS. De manera que, en esta segunda propuesta con ayuda de los mapas

⁵El Anexo B.3 incluye el cálculo de las distancias entre circuitos para cada uno de los distritos, su versión digital se encuentra en el CD adjunto, en la carpeta *Escenario 3* existe para cada distrito una carpeta con el nombre *Circuitos*, dentro de cada una de estas se encuentra el archivo *prueba D(Número del distrito) circuitos*, por ejemplo *prueba D2 circuitos*

proporcionados por la Subsecretaría y el programa ARCGIS 10, las distancias se calculan a partir de una definición de un centroide de cada parroquia de acuerdo a su oferta; es decir, por la agrupación de las instituciones educativas públicas disponibles en los mapas. Una vez definidos los centroides, el cálculo de las distancias interparroquiales en kilómetros (de centroide a centroide), se lo hizo mediante el uso de la herramienta Measure disponible en el programa geográfico, siguiendo primordialmente las vías de primer orden especificadas en los mapas.

Es necesario mencionar que se desconoce si por dichas rutas existe transporte público y si serán las verdaderas rutas de movilización de los estudiantes, por lo que la distancia real podría variar; sin embargo, consiste en un método más técnico y real que el anterior, cuyo cálculo podría brindar mejores resultados⁶.

	Conocoto	Pintag	Amaguaña	Guangopolo	Alangasí	La Merced
Conocoto	0	25.49	13.66	11.26	8.36	13.01
Pintag	25.49	0	30.50	17.55	13.26	12.17
Amaguaña	13.66	30.50	0	21.16	17.78	18.88
Guangopolo	11.26	17.55	21.16	0	6.46	11.70
Alangasí	8.36	13.26	17.78	6.46	0	13.18
La Merced	13.01	12.17	18.88	11.70	13.18	0

Tabla 3.11: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias del distrito 8.

Fuente:Elaboración propia.

⁶El Anexo B.3 detalla las distancias calculadas entre parroquias para cada uno de los distritos, su versión digital se encuentra en el CD adjunto, en la carpeta *Escenario 1* con el nombre *distancias*.

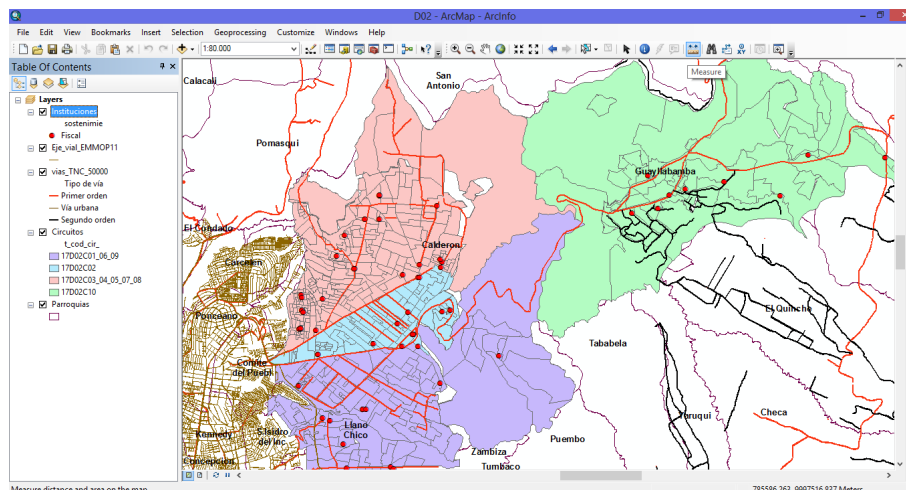


Figura 3.13: ARCGIS 10.

Fuente: Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito.

3.2.3 CÁLCULO DEL VALOR DE PREFERENCIA DE LOS ESTUDIANTES

El escenario 4 descrito en una sección anterior, propone incluir en la función objetivo del modelo un valor de preferencia denominado p_{ij} , este resulta del producto entre un factor de preferencia f_{ij} y la calificación promedio n_i obtenida por el estudiante i en séptimo año de EGB.

Sin embargo, debido a que no se tiene información referente a las calificaciones y preferencias de los estudiantes, estos fueron generados al azar. Se crearon números aleatorios entre 14 y 20, calificaciones mínima y máxima que el alumno puede alcanzar para ser promovido; y, además a cada uno de ellos se le registró aleatoriamente tres centros educativos que se supone son de su preferencia, a los cuales se les asignó un peso f_{ij} de 0.4, 0.15 y 0.082 respectivamente, mientras que al resto de instituciones educativas que si bien no son parte de ese grupo selecto por el estudiante, no dejan de ser una opción de ingreso por lo que se les asigna un peso de 0.002⁷.

⁷ Son 31.572 estudiantes y 212 instituciones, para mayor detalle la matriz resultante se encuentra disponible en su versión digital en el CD adjunto, en la carpeta *Escenario 4* con el nombre *Datos preferencias*

3.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO

Los modelos de flujo de costo mínimo de los escenarios 1, 2 y 4 se resolvieron usando el solver especializado mcf–1.3. Para estos tres casos, los archivos de entrada fueron generados a través de programas escritos en lenguaje C++ mientras que los resultados finales se obtuvieron tomando los archivos de salida del mcf–1.3 y aplicando programas desarrollados con Microsoft Visual Basic para la generación de reportes resumen⁸.

Mientras que, los modelos individuales propuestos en el escenario 3 se resolvieron usando el solver SCIP 1.2.0., los archivos de entrada se los generó con extensión .zpl y los archivos de salida como resultado del SCIP se procesaron con los programas desarrollados en Microsoft Visual Basic, lo cual permitió el análisis de los resultados finales⁹.

Para ambos casos, se tiene que:

- El archivo de entrada correspondiente a los estudiantes, está formado por dos de columnas de información: número de identificación del estudiante (1,2,...,31.572), número de identificación de la parroquia o circuito de residencia (parroquia: 1,2,...,63; circuito: 1,2,...,45).
- El archivo de entrada de las instituciones educativas, distribuye su información en tres columnas de la siguiente manera: número de identificación (1,2,...,212), número de identificación de la parroquia o circuito de residencia (parroquia: 1,2,...,63; circuito: 1,2,...,45) y el número de cupos que oferta para octavo año de educación general básica.
- El archivo de texto de las distancias estimadas en kilómetros entre parroquias, es una matriz simétrica de 63 x 63.
- Los archivos de salida generados tanto del SCIP como del MCF, contienen

⁸Revisar ANEXO A.2

⁹Revisar ANEXO A.1

dos columnas: la primera hace referencia al número de identificación del estudiante, y la segunda es el número de identificación de la institución asignada. Para procesar la información disponible en un archivo de texto, fue necesario ayudarnos de dos macros. Una para encontrar automáticamente el número de identificación de la parroquia o circuito de residencia (parroquia: 1,2,...,63; circuito: 1,2,...,45); y, otra para determinar la movilización de los estudiantes entre parroquias o circuitos.

A continuación se presenta un diagrama que resume el procedimiento utilizado:

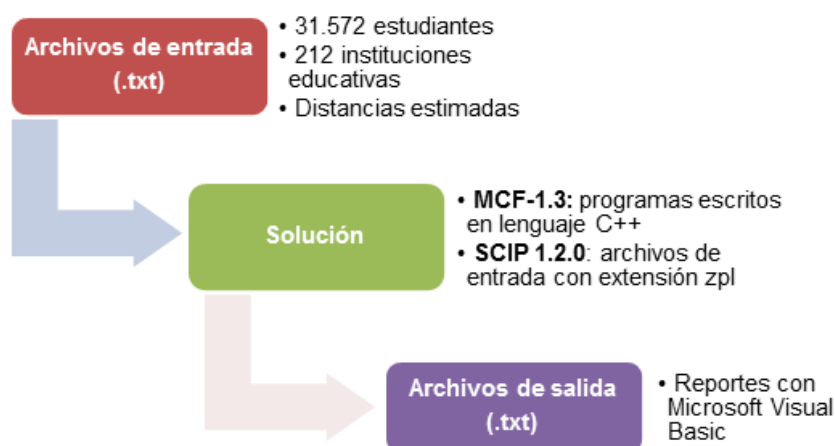


Figura 3.14: Diagrama de desarrollo y solución del problema.

Fuente: Elaboración propia.

Es fundamental mencionar que las pruebas experimentales se llevaron a cabo en un computador con sistema operativo Windows 8 Single Language, con procesador Intel Core i5–3210 de 2.5 GHz y memoria RAM de 6 GB.

3.3.1 TAMAÑO DE LOS ESCENARIOS

Para los escenarios 1, 2 y 4 en los que se considera una asignación de cupos general, esto es resolver el problema a gran escala para el DMQ, los modelos de flujo de costo mínimo tienen una red asociada con 31.574 nodos, que corresponde a la suma de 31.542 estudiantes del DMQ más 212 instituciones; y, 6'686.904 arcos, que corresponden a las variables x_{ij} .

Asimismo, para el caso particular que aborda el tercer escenario con los modelos individuales, se tiene que:

- El modelo de flujo de costo mínimo del distrito 2 tiene una red asociada a 2.535 nodos, que corresponde a la suma de 2.516 estudiantes más 19 centros educativos, siendo 47.804 arcos las variables x_{ij} . Al respecto es importante mencionar que la oferta existente en el distrito no cubre con 434 cupos la totalidad de la demanda; por esta razón, se genera un nodo artificial en el lado de la oferta con una disponibilidad equivalente al valor deficitario, esto explica que sean 19 y no 18 instituciones a tomarse en cuenta.
- En el distrito 3 existe un déficit de 345 cupos escolares y dado que las pruebas experimentales se llevan a cabo a nivel parroquial, se encontraron 2 parroquias (Perucho y Chavezpamba) que no tienen instituciones educativas que oferten octavo año de EGB, por lo que en este caso en particular se agregan tres nodos ficticios que permitan el balance requerido; uno de ellos con una capacidad equivalente al déficit y dos con capacidad cero. De esta manera, la red asociada al distrito 3 tiene 3.982 nodos y 118.560 arcos.
- Las cinco parroquias que conforman el distrito 4 tienen tanto oferta como demanda; sin embargo, a nivel distrital existe un déficit de 617 cupos. Así, la red se compone de 4.579 nodos incluido el nodo ficticio necesario para el balance entre la oferta–demanda y 127.428 arcos.
- En los distritos 5 y 6 sucede lo contrario, la oferta satisface en su totalidad a la demanda registrada en las zonas dándose incluso un sobrante de cupos; sin embargo, en el distrito 5 existen dos parroquias (Rumipamba y Jipijapa 2) que no disponen de instituciones que oferten octavo año de EGB, por ésta razón se crean tres nodos de lado de la oferta, uno de ellos pertenece a una parroquia ficticia que se generó para ubicar la disponibilidad de 1.288 cupos que posee el distrito. La red asociada a este distrito posee 4.495 nodos y 173.784 arcos.

- En el distrito 6, no existe ningún inconveniente con la oferta y demanda existente en cada uno de sus circuitos, pero dado el superávit educativo se genera un nodo con capacidad cero en una parroquia ficticia cuya demanda equivale a los 247 cupos que aún dispone el distrito luego de satisfacer ya su demanda. La red asociada a este distrito posee 7.761 nodos y 347.220 arcos.
- En el distrito 7 existe un déficit de 1.536 cupos escolares, de igual forma se genera un nodo ficticio de lado de la oferta con una capacidad equivalente al déficit de manera que la red esté formada por 3.468 nodos, que corresponde a la suma de 3.451 estudiantes más 17 instituciones incluido el nodo ficticio; y, 58.667 arcos que corresponden a las variables.
- El déficit existente en el distrito 8 requiere también de un nodo ficticio para lograr el balance que supone el modelo, por tanto la red asociada posee 2.109 nodos que resulta de la suma del número de estudiantes con las 18 instituciones que incluye el nodo ficticio; y, 37.638 arcos.
- El modelo de flujo de costo mínimo para el distrito 9 tiene una red asociada a 2.867 nodos, de los cuales 27 corresponden al número de instituciones que ofertan octavo año y una al nodo ficticio con capacidad de 421 que es el número de estudiantes que no recibirían un cupo dentro de su distrito; con 79.492 arcos, que corresponde a las variables x_{ij} .

En la Tabla 3.12 se resume el número de variables y restricciones involucradas en los modelos formulados para cada uno de los distritos ¹⁰.

¹⁰El CD adjunto contiene cuatro carpetas con los nombres: *Escenario 1*, *Escenario 2*, *Escenario 3* y *Escenario 4*. Cada carpeta incluye todos los archivos que se utilizaron para encontrar la solución en los programas MCF o SCIP.

Distritos	Demanda	Oferta	Variables	Restricciones
D2	2.516	2.082	47.804	2.535
D3	3.952	3.607	118.560	3.982
D4	4.551	3.934	127.428	4.579
D5	4.456	5.744	173.784	4.495
D6	7.716	7.963	347.220	7.761
D7	3.451	1.915	58.667	3.468
D8	2.091	1.136	37.638	2.109
D9	2.839	2.418	79.492	2.867

Tabla 3.12: Dimensión del problema de optimización resuelto para cada distrito.

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS NUMÉRICOS

A continuación se presentan los resultados numéricos obtenidos de los modelos de optimización para la asignación de cupos escolares en el DMQ, de acuerdo a los cuatro escenarios formulados para el problema.

Los escenarios 1, 2 y 4 consideran un modelo de flujo de costo mínimo con: 31.572 estudiantes y 212 instituciones educativas de los ocho distritos (31.784 nodos), 6.693.264 variables, una capacidad total de 28.799 cupos y una matriz de 63 x 63 con el cálculo de distancias entre parroquias expresadas en kilómetros. Es fundamental recordar del capítulo anterior que son 2.773 estudiantes, esto es el 9% de la población, los que no reciben un cupo escolar por un déficit educativo. Únicamente en el escenario 3, este faltante aumenta a 4.308 cupos, lo que se debe al balance de oferta y demanda a nivel individual (por distritos).

Para cada escenario se detalla el número de estudiantes que son asignados a instituciones de su zona geográfica, el número y porcentaje de aquellos que son asignados a instituciones que están fuera de su zona, y el total de cupos que faltan para poder satisfacer completamente la demanda de cada distrito. Esta última cantidad también puede ser vista como el número de estudiantes de un distrito que se queda sin cupo, lo que permite focalizar el problema de déficits educativos en zonas específicas y puede ser una guía para la aplicación de proyectos de mejora por parte de las autoridades educativas.

4.1 ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 1

El modelo fue resuelto en el programa MCF 1.3 y tardó 117 segundos. Se verificó en los resultados que cada estudiante recibió efectivamente un cupo y se respetaron las capacidades de cada institución.

Los resultados obtenidos se detallan en la Tabla 4.1. De acuerdo a esta asignación, se logra que los 28.799 cupos que dispone el Distrito Metropolitano de Quito, se distribuyan en su totalidad; así, el 83 % de los estudiantes, son asignados a una institución educativa ubicada en su distrito de residencia. En este caso, para aprovechar los superávits identificados en los distritos 5 y 6 (1.535 cupos en total), se identifica una ligera movilidad del 8 % de alumnos a distritos aledaños. Con ello es importante mencionar que los distritos 5 y 6 no registran faltantes, siendo el distrito 5 el único que mantiene el 100 % de sus estudiantes en instituciones de la zona, evitando desplazamientos a distritos cercanos. En el caso del distrito 8, no existe movilidad de los estudiantes pero solo el 54 % recibe un cupo (faltante de 955 cupos).

Distrito	Demanda	Oferta	Estudiantes asignados a Distritos:				Faltante
			De su residencia		Aledaños		
D2	2.516	2.082	2.082	83 %	415	16 %	19
D3	3.952	3.607	3.452	87 %	385	10 %	115
D4	4.551	3.934	3.608	79 %	943	21 %	0
D5	4.456	5.744	4.456	100 %	0	0 %	0
D6	7.716	7.963	7.370	96 %	326	4 %	20
D7	3.451	1.915	1.915	55 %	352	10 %	1.184
D8	2.091	1.136	1.136	54 %	0	0 %	955
D9	2.839	2.298	2.298	81 %	61	2 %	480
TOTAL	31.542	28.779	26.317	83 %	2.482	8 %	2.773

Tabla 4.1: Escenario 1: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias originales, por distrito.

Fuente: Elaboración Propia.

En la siguiente figura, se encuentran los resultados a nivel circuital y se destaca que aún permitiéndose una movilidad entre distritos, dados los déficits educativos de la mayoría de ellos, se logra la permanencia del 75 % de estudiantes en los

circuitos donde residen. Existe una ligera movilidad entre circuitos del 16 %. El distrito 4, es aquel que mayor movilidad presenta con un 27 %, seguido por los distritos 2 y 3, mientras que en el distrito 8 se permite la movilización del 2 % de estudiantes. Para el caso del distrito 6 que no registra desplazamientos a distritos aledaños, a nivel de circuitos si existe y es del 15 %.

Adicionalmente, los estudiantes que necesariamente tienen que movilizarse, recorren en total 26.763 [km], esto es 5,36 [km] promedio cada uno.

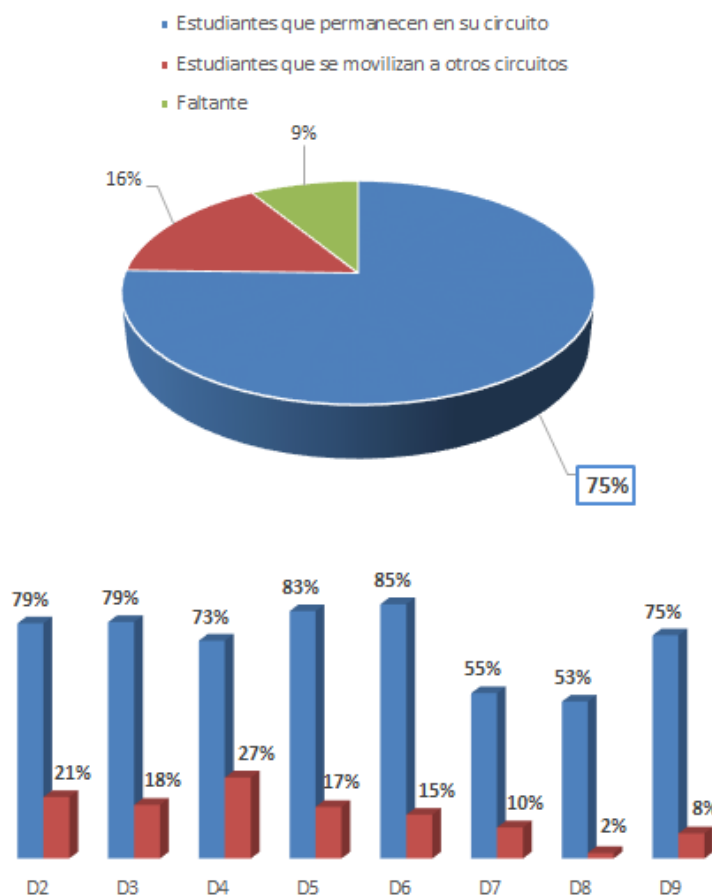


Figura 4.1: Escenario 1: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias originales, por circuito.

Fuente: Elaboración propia.

4.2 ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 2

En este escenario se considera una variante en la matriz de 63 x 63 con el cálculo de distancias, pues incluyen la penalización del 30 % entre parroquias que pertenecen a distritos diferentes, expresadas en kilómetros. El modelo fue resuelto

en el programa MCF 1.3 y tardó 115 segundos. Se verificó en los resultados que cada estudiante recibió efectivamente un cupo y se respetaron las capacidades de cada institución.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se garantiza que el 85 % de los estudiantes asista a un colegio de su distrito y el desplazamiento del 6 % a distritos aledaños, esto para utilizar los 28.779 cupos que dispone el DMQ.

En base al criterio propuesto para el escenario, el distrito 5 mantiene su posición respecto al escenario anterior con la satisfacción del 100 % de su demanda. Los distritos 8 y 9 no registran movilización alguna de los estudiantes, pero tienen faltantes de 955 y 464 cupos, respectivamente.

Distrito	Demanda	Oferta	Estudiantes asignados a Distritos:				Faltante
			De su residencia		Aledaños		
D2	2.516	2.082	2.068	82 %	350	14 %	98
D3	3.952	3.607	3.454	87 %	385	10 %	113
D4	4.551	3.934	3.934	86 %	617	14 %	0
D5	4.456	5.744	4.456	100 %	0	0 %	0
D6	7.716	7.963	7.550	98 %	146	2 %	20
D7	3.451	1.915	1.915	55 %	413	12 %	1.123
D8	2.091	1.136	1.136	54 %	0	0 %	955
D9	2.839	2.418	2.375	84 %	0	0 %	464
TOTAL	31.572	28.779	26.888	85 %	1.911	6 %	2.773

Tabla 4.2: Escenario 2: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias penalizadas, por distrito.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente figura, se puede verificar la asignación del 74 % de estudiantes a centros educativos ubicados en su circuito de residencia teniendo que el 17 % necesariamente trasladarse a circuitos aledaños. Los distritos 4 y 5 no registran faltantes y son los que mayor movilidad entre circuitos presentan 33 y 20 %, respectivamente. Por el contrario en el distrito 8 se asigna únicamente al 2 % de sus estudiantes a instituciones fuera de su circuito educativo registrando un faltante de 955 cupos.

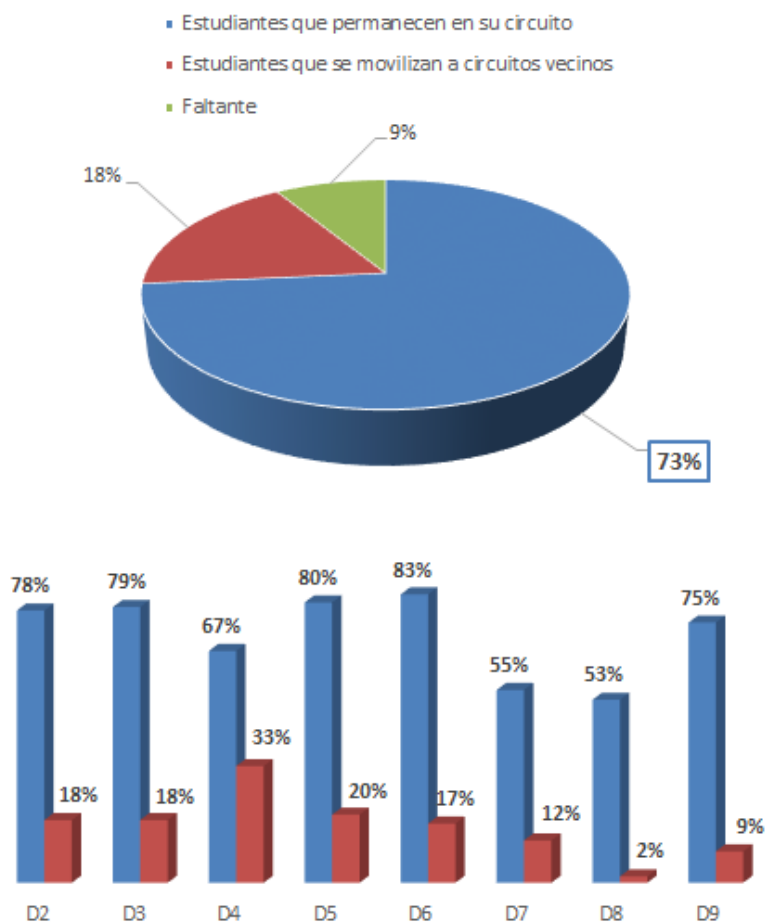


Figura 4.2: Escenario 2: Asignación de cupos general en el DMQ con distancias originales, por circuito.

Fuente: Elaboración propia.

4.3 ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 3

En el escenario se consideran ocho modelos (ocho distritos). Cada uno toma en cuenta su número de estudiantes e instituciones educativas con cupos a ofertar y la matriz de distancias calculadas entre parroquias y circuitos. En promedio, son modelos asociados a 124.788 variables y 3.974 restricciones. Los modelos se resolvieron en el programa SCIP 1.2 y en promedio tarda 33 segundos por cada modelo. Se verificó en los resultados que cada estudiante recibió efectivamente un cupo y se respetaron las capacidades de cada institución.

En el escenario 3, la asignación de cupos para cada uno de los distritos se realizó tomando en cuenta los dos métodos formulados para estimar las distan-

cias entre las zonas geográficas de los estudiantes y las instituciones educativas.

El primer método consiste en determinar la distancias recorridas por medio del número de circuitos que deben atravesar los estudiantes para llegar a la institución asignada. La asignación resultante aplicando este método de cálculo se muestra en la Tabla 4.3, con ello es posible observar que el número de estudiantes que permanecen en su distrito obedece a la capacidad disponible en el mismo; sin embargo, por tratarse de una asignación por distritos (individual), aquellos distritos 5 y 6 en los que una vez satisfecha su demanda, disponen de cupos que no pueden ser asignados a estudiantes de distritos cercanos con déficit.

Con este tipo de asignación, se logra que el 75 % de los estudiantes asista a una institución ubicada dentro de su circuito, el 12 % tiene que movilizarse a circuitos vecinos y el 14 % no logran ser asignados. Las distancias están calculadas entre circuitos pero si revisamos la movilidad de los estudiantes a nivel parroquial, se tiene que 21.161 estudiantes, el 67 % de la demanda, son asignados a instituciones ubicadas en su parroquia.

Distrito	Demanda	Oferta	Estudiantes que permanecen en su :			Faltante
			Distrito	Circuito	Parroquia	
D2	2.516	2.082	83 %	77 %	77 %	434
D3	3.952	3.607	91 %	83 %	70 %	345
D4	4.551	3.934	86 %	73 %	73 %	617
D5	4.456	5.744	100 %	85 %	85 %	0
D6	7.716	7.963	100 %	90 %	81 %	0
D7	3.451	1.915	55 %	27 %	16 %	1.536
D8	2.091	1.136	54 %	54 %	48 %	955
D9	2.839	2.418	85 %	77 %	56 %	421
TOTAL	31.572	28.799	86 %	75 %	67 %	4.308

Tabla 4.3: Escenario 3: Asignación de cupos por distritos.

Fuente: Elaboración propia.

El segundo método consiste en una estimación de las distancias entre parroquias, en kilómetros. La asignación resultante aplicando este método se muestra en la Tabla 4.4. Con este tipo de asignación, se logra que el 78 % de los estudiantes

sea asignado a una institución ubicada dentro de su circuito, el 9 % tiene que movilizarse a circuitos aledaños y el 14 % no logran ser asignados; además, se registra que 23.894 estudiantes, el 76 % de la demanda, son asignados a instituciones que se localizan en su parroquia de residencia.

El 100 % de los estudiantes de los distritos 5 y 6 recibieron un cupo a instituciones ubicadas en los distritos, con ello 1.535 cupos no fueron asignados. El distrito 8 con su oferta de cupos dada, el 54 % de estudiantes son asignados a colegios de su circuito de residencia, 955 estudiantes no recibieron cupo.

Distrito	Demanda	Oferta	Estudiantes que permanecen en su :			Faltante
			Distrito	Circuito	Parroquia	
D2	2.516	2.082	83 %	77 %	77 %	434
D3	3.952	3.607	91 %	83 %	83 %	345
D4	4.551	3.934	86 %	73 %	73 %	617
D5	4.456	5.744	100 %	85 %	85 %	0
D6	7.716	7.963	100 %	90 %	84 %	0
D7	3.451	1.915	55 %	27 %	55 %	1.536
D8	2.091	1.136	54 %	54 %	53 %	955
D9	2.839	2.418	85 %	78 %	75 %	421
TOTAL	31.572	28.799	86 %	78 %	76 %	4308

Tabla 4.4: Escenario 3: Asignación de cupos por distritos.

Fuente: Elaboración propia.

De los modelos resueltos en el escenario 3 con los dos métodos de cálculo de distancias entre zonas (circuitos y parroquias), se comprueba que con una asignación a nivel de circuitos, existe una movilidad significativa de los estudiantes entre parroquias. Pues resultó que en la asignación de los cupos escolares de algunas parroquias se priorizó a estudiantes de parroquias aledañas y no a sus residentes.

Para ejemplificar esta situación, se cita el caso del distrito 3 que se divide en 9 circuitos (Revisar Tabla 1.3.1). En el circuito 2 de este distrito (Perucho, Chavezpamba y Atahualpa), Atahualpa es una parroquia con 42 cupos escolares, 14 cupos se asignaron a estudiantes residentes de la zona y los 28 cupos restantes se asignaron a estudiantes de las parroquias Perucho y Chavezpamba. En el

circuito 4 (Nono y El Condado), Nono dispone en total de 25 cupos y todos se asignaron a estudiantes de El Condado, existen 14 estudiantes residentes de Nono asignados a instituciones de El Condado.

En la siguiente figura, se verifica un contraste de los resultados obtenidos con los dos métodos de cálculo de distancias.

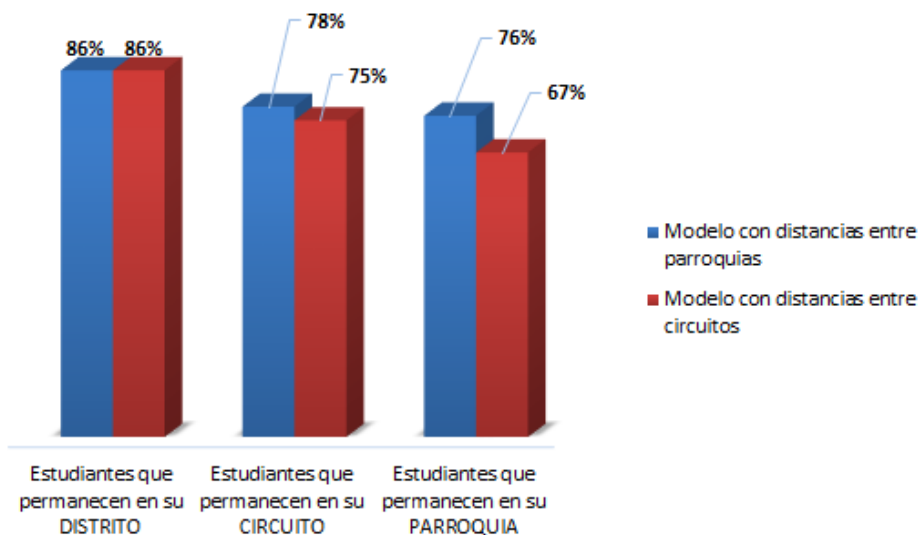


Figura 4.3: Escenario 3: Asignación de cupos por distrito, circuito y parroquia.

Fuente: Elaboración propia.

4.4 ASIGNACIÓN DEL ESCENARIO 4

En el cuarto y último escenario, se propusieron dos casos que consideran como criterios de asignación: meritocracia y movilización. Para ambos, se toma en cuenta de manera adicional una matriz de 31.572 x 212 con el cálculo de los factores de preferencia de los estudiantes por las instituciones.

Los valores de la matriz resultan del producto entre la nota promedio del estudiante en séptimo año de EGB y el peso otorgado a sus preferencias. Para su cálculo se procedió en primer lugar a generar una lista top de las 212 instituciones educativas de acuerdo al número de cupos disponibles para octavo año de EGB, en base a esta lista se generaron tres preferencias de manera aleatoria para los 31.572 estudiantes a las mismas que se les asignó un peso de 0.4, 0.15 y 0.082

respectivamente, mientras que las 209 instituciones restantes se les asignó un valor de 0.002, y por último se generaron calificaciones aleatorias para los estudiantes.

Los modelos fueron resueltos en el programa MCF 1.3 y tardó 112 segundos. Se verificó en los resultados que cada estudiante recibió efectivamente un cupo y se respetaron las capacidades de cada institución.

El primer caso, maximiza las preferencias de los estudiantes sin consideración alguna sobre su movilización. La asignación resultante se detalla a nivel de distritos en la tabla 4.5, si bien el 89 % de la demanda existente en el DMQ tiene que movilizarse a centros educativos ubicados fuera de su circuito y el 77 % incluso fuera de su distrito, el 89 % de ellos fueron asignados a su primera, segunda y tercera preferencia. Además, todos los distritos registran faltantes incluso los distritos 5 y 6 que poseen superávits educativos.

Distrito	Demanda	Oferta	Estudiantes asignados a Distritos:				Faltante
			De su residencia		Aledaños		
D2	2.516	2.082	174	7 %	2.133	85 %	209
D3	3.952	3.607	469	12 %	3.133	79 %	345
D4	4.551	3.934	582	13 %	3.587	79 %	382
D5	4.456	5.744	792	18 %	3.287	74 %	377
D6	7.716	7.963	1.927	25 %	5.132	67 %	657
D7	3.451	1.915	184	5 %	2.944	85 %	323
D8	2.091	1.136	68	3 %	1.818	87 %	205
D9	2.839	2.418	209	7 %	2.360	83 %	270
TOTAL	31.572	28.799	4.405	14 %	24.394	77 %	2.773

Tabla 4.5: Escenario 4a: Asignación de cupos general en el DMQ por preferencias y rendimiento académico, por distrito.

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 4.4 se puede verificar los resultados obtenidos a nivel de circuitos, esta asignación con el cumplimiento estricto de las restricciones impuestas al modelo, permite que el 89 % de la población estudien en centros educativos de su preferencia ubicados fuera de su circuito, como también que tan solo el 2 % lo

haga dentro del mismo. El 9 % del total de estudiantes no reciben un cupo escolar.

Adicionalmente, los estudiantes que necesariamente tienen que movilizarse, recorren en total 607.588 [km], esto es 19,7 [km] promedio cada uno.

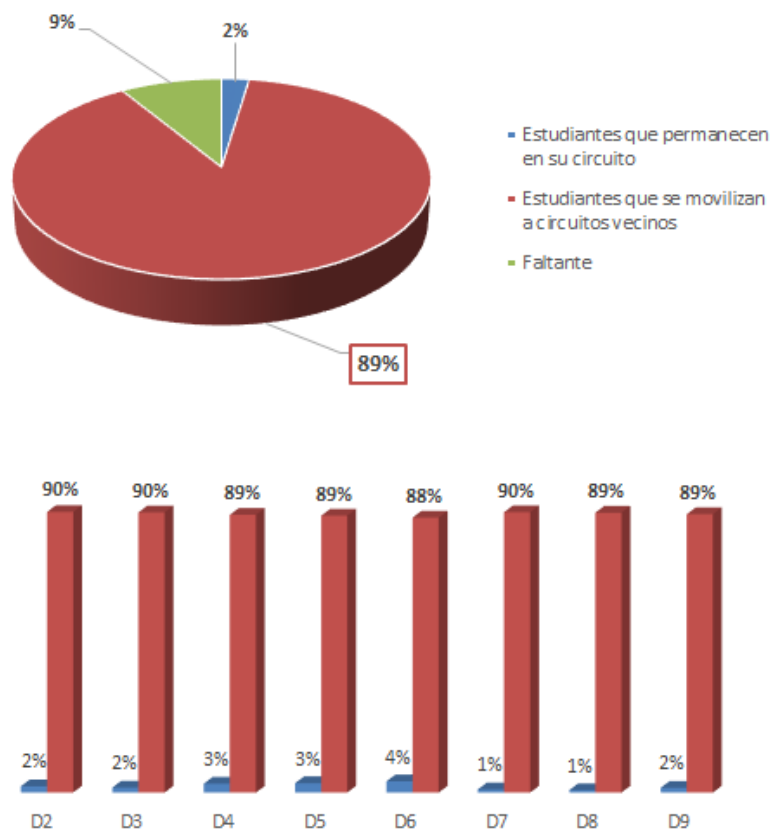


Figura 4.4: Escenario 4: Asignación de cupos general en el DMQ por preferencias y rendimiento académico, por circuito.

Fuente: Elaboración propia.

En lo que a preferencias se refiere la Tabla 4.6 contrasta los resultados de las asignaciones por preferencias, resultantes del modelo global bajo los escenarios 1 y 4, en los que se trata la movilidad y las preferencias de los estudiantes de manera independiente. Así, para el caso de minimizar la resistencia de los alumnos atendiendo sus preferencias y calificaciones (Modelo 4.a), se obtiene que el 13 % de los estudiantes son asignados a instituciones de su primera preferencia, el 36 % a instituciones de segunda preferencia, el 34 % a instituciones de su tercera preferencia y el 17 % son asignados a otros centros educativos. Para el escenario 1, si bien el 83 % de la demanda permanece en su distrito, el 98 % son asignados

a instituciones que no constan en sus tres primeras preferencias.

Escenario 1									
Preferencia 1		Preferencia 2		Preferencia 3		Otras		Total	
437	0.0014 %	173	0.005 %	50	0.01 %	30.912	98 %	31.572	

Escenario 4a									
Preferencia 1		Preferencia 2		Preferencia 3		Otras		Total	
4.200	13 %	11.322	36 %	10.773	34 %	5.277	17 %	31.572	

Tabla 4.6: Asignación de cupos por preferencias: Escenarios 1 y 4(a).

Fuente: Elaboración propia.

El segundo caso de este escenario considera simultáneamente criterios de preferencia y movilidad de los estudiantes (Modelo 4.b). Es fundamental recordar que la matriz de distancias está expresada en kilómetros y que la matriz de preferencias se compone de factores inferiores a 1, por ello fue necesario contar con la normalización de las distancias y de esta manera mermar el desfase de sus magnitudes.

Se realizaron pruebas con diferentes ponderaciones hasta encontrar aquella que brinde mejores resultados. La siguiente figura detalla los resultados globales obtenidos para cada ponderación realizada, siempre se otorga el mayor peso a la distancia recorrida por el estudiante. Se puede ver que a medida que se va otorgando un mayor peso a la movilidad, se tiene que tanto el número de estudiantes que permanecen en su distrito como en su circuito también incrementan y no varían a partir de la ponderación 90–10. De igual forma sucede con el número de estudiantes asignados a una de sus tres primeras preferencias; sin embargo, este llega a su máximo (79 %) con una ponderación 80–20 y a partir de allí va disminuyendo.

De manera que, aquella ponderación que otorga un peso del 90 % a la movilidad y un 10 % a las preferencias de los estudiantes, es la que mejores resultados ofrece. Pues el 46 % de estudiantes son asignados a instituciones de su distrito, el

26 % a instituciones de su circuito y el 66 % asiste a un colegio de su preferencia.

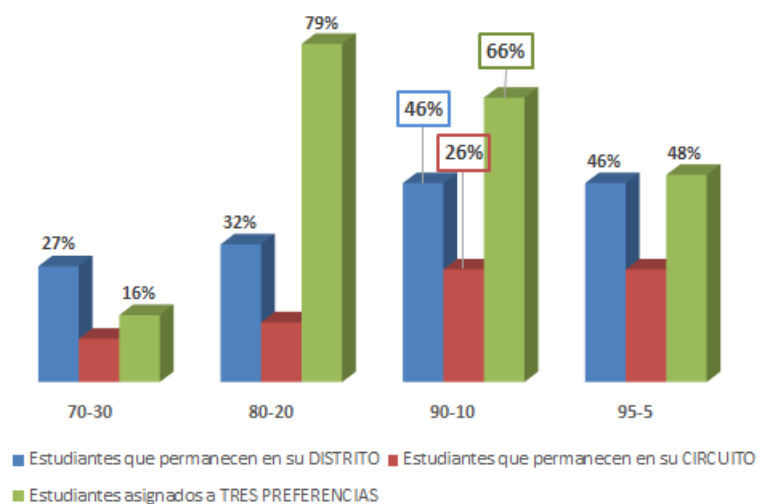


Figura 4.5: Escenario 4b: Ponderaciones movilidad y preferencias.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se muestran los resultados obtenidos del modelo ponderado 90–10. A nivel distrital la Tabla 4.7, señala que se asignaría al 46 % de estudiantes a una institución educativa ubicada dentro de su distrito de residencia y el 45 % tendría que trasladarse a distritos cercanos. El distrito 4 es el único que no registra faltante de cupos a pesar de su déficit educativo, por supuesto a costa de una mayor movilización (63 %). El distrito 9 es el que mayor número de estudiantes mantiene en su distrito (73 %), siendo 167 estudiantes los que no recibieron cupo.

En la Figura 4.6, se pueden verificar los resultados obtenidos a nivel de circuitos y con ello se afirma que el 26 % de la población son asignados a centros educativos ubicados en su circuito como también que el 65 % son enviados a aquellos ubicados fuera de él; el distrito 4 es el que mayor movilidad de estudiantes presenta a fin de satisfacer completamente su demanda, mientras que el distrito 8 con el 33 % de movilidad no es suficiente y registra un faltante de 576 cupos. Adicionalmente, los estudiantes que necesariamente tienen que movilizarse, recorren en total 230.534 [km], esto es 9,88 [km] promedio cada uno.

Distrito	Demanda	Oferta	Estudiantes asignados a Distritos:				Faltante
			De su residencia		Aledaños		
D2	2.516	2.082	1.089	43 %	1.159	46 %	268
D3	3.952	3.607	1.491	38 %	1.606	41 %	855
D4	4.551	3.934	1.696	37 %	2.855	63 %	0
D5	4.456	5.744	2.224	50 %	2.193	49 %	39
D6	7.716	7.963	4.335	56 %	3.370	44 %	1.635
D7	3.451	1.915	765	22 %	1829	53 %	857
D8	2.091	1.136	940	45 %	575	27 %	576
D9	2.839	2.418	2.060	73 %	612	22 %	218
TOTAL	31.572	28.799	14.600	46.24 %	14.199	45 %	2.773

Tabla 4.7: Escenario 4b: Asignación de cupos general en el DMQ por movilidad y preferencia, por distrito.

Fuente: Elaboración propia.

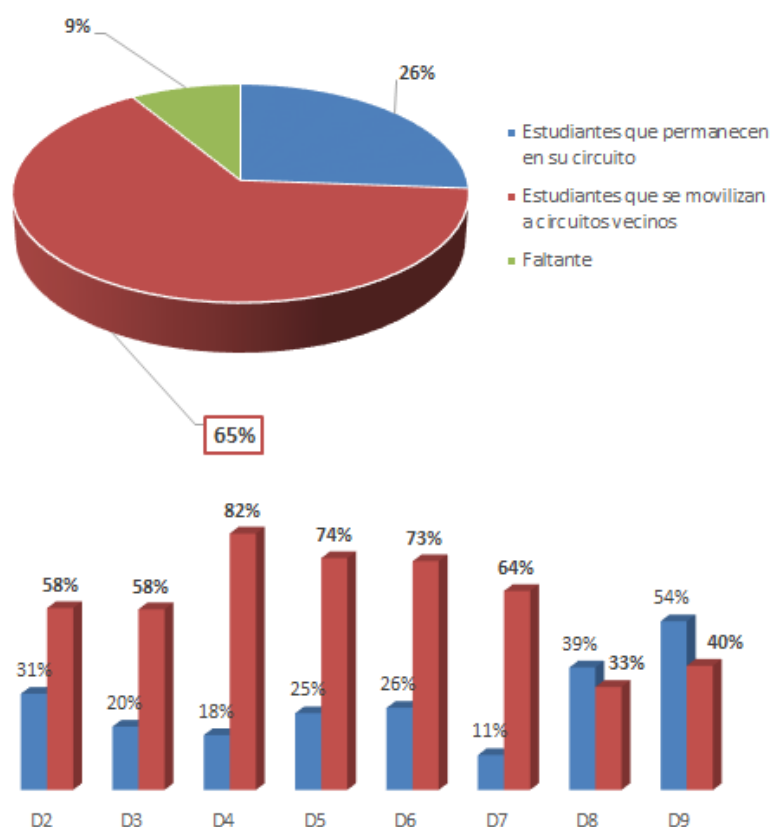


Figura 4.6: Escenario 4b: Asignación de cupos general en el DMQ por movilidad y preferencia, por circuitos

Fuente: Elaboración propia.

En efecto, la misma asignación logra que el 66 % de los estudiantes sean asignados a una de las tres instituciones que consideran de su preferencia. Al igual que

la anterior asignación, la Tabla 4.8 expone los resultados de las asignaciones por preferencias, resultantes de este modelo y del modelo global bajo el escenario 1.

El objetivo de este último modelo es considerar simultáneamente los criterios de movilización, del nuevo modelo de gestión del MinEduc, y preferencias de padres de familia con calificaciones de séptimo año de EGB de los estudiantes, con el cual se logra una asignación de 20.866 estudiantes, esto es el 66 %, a instituciones de su primera, segunda y tercera preferencia, manteniendo al 46 % de la demanda en instituciones ubicadas dentro del distrito.

Escenario 1									
Preferencia 1		Preferencia 2		Preferencia 3		Otras		Total	
437	0.0014 %	173	0.005 %	50	0.01 %	30.912	98 %	31.572	

Escenario 4b									
Preferencia 1		Preferencia 2		Preferencia 3		Otras		Total	
4.204	13 %	10.446	33 %	6.216	20 %	10.706	34 %	31.572	

Tabla 4.8: Asignación de cupos por preferencias: Escenarios 1 y 4(b).

Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

A continuación, se detallan algunas conclusiones importantes:

- De la relación oferta y demanda educativa, se registra un faltante de 2.773 estudiantes; sin embargo, esta cantidad asciende a los 4.308 si se realiza una asignación por distrito ya que los déficits propios de cada uno de ellos no pueden ser compensados con los superávits que se identifican únicamente en los distritos 5 y 6. Por tanto se concluye que, la movilidad es necesaria para poder satisfacer la demanda de cupos, aún si ésta es penalizada. Ya que el porcentaje de estudiantes que permanece en su distrito aumenta solamente del 83 % en el escenario 1 al 85 % en el escenario 2, con el efecto de que la movilidad entre circuitos aumenta ligeramente del 16 % al 17 %. Se puede observar que no se logrará una mejora radical si no se aumenta la oferta en determinados distritos.
- En cuanto a tiempos, se destaca que la asignación óptima para el escenario 3, se calcula en 33.46 segundos promedio y las asignaciones globales en 115 segundos promedio. Este es un aspecto importante que aumenta significativamente el valor y utilidad del trabajo realizado, ya que con los procedimientos actuales, la asignación de cupos tardaría un tiempo considerablemente mayor.
- De los modelos resueltos en el escenario 3, se comprueba que con una asignación a nivel de circuitos, existe una movilidad significativa de los

estudiantes a nivel de parroquias, pues algunas de ellas tras disponer de determinada cantidad de cupos escolares, son distribuidos en su mayoría a estudiantes de parroquias vecinas, cuando es posible que los cupos disponibles sean asignados priorizando a los residentes de la zona.

Por esta razón se optó por una asignación a nivel de parroquias con el cálculo de las distancias en kilómetros, pues se verifica que bajo esta metodología a más de lograr que el 78 % de los estudiantes sean asignados a instituciones de su circuito y el 76 % a instituciones de su parroquia; es decir, 3 y 11 puntos porcentuales, respectivamente, más que con la asignación obtenida a nivel circuital, que representan el 75 y 65 % para cada caso, se trata de una estimación cercana a la realidad al tomar en cuenta las vías de primer orden que se especifican en los mapas.

- Se verifica que al maximizar las preferencias de los estudiantes de acuerdo a su rendimiento académico, se encuentra que la movilidad es muy alta tanto a nivel de distrito como de circuito, 79 y 89 % respectivamente, esto es coherente con la realidad pues, en general, los estudiantes no ven como algo negativo el movilizarse largas distancias a cambio de estudiar en la institución de su preferencia. Con este modelo la resistencia social sería baja, dado que un 83 % de los estudiantes son asignados a alguna de sus preferencias.
- Si se trata de equilibrar los criterios de asignación, combinando los criterios de minimizar la movilidad total y de satisfacer las preferencias de los estudiantes, se puede observar que únicamente se movilizan entre distritos un 7 % de estudiantes y entre circuitos un 16 %, mermando de alguna manera la resistencia social ya que el 66 % de estudiantes serían asignados a una institución que manifestó afinidad, esta resistencia es mucho menor en comparación al modelo sin preferencias, en el que se obtiene una resistencia del 98 %.
- Los modelos propuestos permiten fácilmente ser aplicados a otros niveles

de educación como son inicial y bachillerato, ya sea bajo los mismos criterios de asignación u otros que los hayan establecido las autoridades educativas.

- El principal aporte del estudio realizado es proporcionar una herramienta computacional técnica y eficiente a los tomadores de decisiones, para que aplicándose en un futuro próximo evite conflictos resultantes de manejar criterios empíricos para la asignación de estudiantes.

5.2 RECOMENDACIONES

Para los modelos propuestos se utilizó información referente a: oferta, demanda, distancias entre los estudiantes y los respectivos centros educativos, al igual que la preferencia de los estudiantes hacia ciertos centros educativos y su nota promedio en séptimo año de EGB, misma que no existe de manera fidedigna, de manera que algunos datos han sido generados de manera aleatoria a fin de realizar pruebas experimentales. Sin embargo, contar con esta información por parte del Ministerio de Educación no solo nos permitiría contrastar los resultados obtenidos de dos procesos que llevan tiempos diferentes, sino también calibrar los modelos propuestos en este proyecto a fin de convertirlos en una fuerte herramienta para las autoridades educativas, que beneficie a todos los involucrados en el sistema de educación pública.

En trabajos futuros podrían ser considerados los siguientes tópicos adicionales:

- El Ministerio de Educación, de acuerdo al modelo de gestión actual, establece como prioridad la cercanía de los estudiantes a las instituciones educativas asignadas; sin embargo, está tratando de incluir otros criterios como es la asignación automática a aquellas instituciones donde los alumnos tengan hermanos matriculados, identificándose como un problema a resolver, aquel caso en el que el estudiantes tenga dos o más hermanos en centros educativos diferentes. En ese sentido, en relación a los modelos

de flujo de costo mínimo propuestos, se deja como un tema abierto la posibilidad de incluir una o varias restricciones según se vayan considerando nuevos criterios de asignación por parte de las autoridades educativas.

- Disponer de mayor información certera de los estudiantes y de las instituciones educativas nos permitiría considerar también restricciones de género o incluso racial como se propone en el modelo de balance Belford y Ratliff.
- Otro interesante aporte recae sobre la localización de los centros educativos a lo largo y ancho del DMQ, con ello resultaría de gran ayuda determinar la localización óptima de cada uno de ellos, enfocados ya sea a la minimización de la distancia a recorrer por los estudiantes o a la maximización de la cobertura del servicio educativo, lo importante es cumplir con criterios esenciales de equidad y justicia espacial.
- Finalmente, el trabajo desarrollado pretende brindar mayor interés en la aplicación de modelos matemáticos como herramientas de apoyo para la toma de decisiones en los distintos procesos que hoy por hoy se están emprendiendo en el sistema educativo público.

Bibliografía

- [1] Ahuja, R.K., Magnanti, T., Orlin, J. (1993). *Network Flows. Theory Algorithms and applications. New Jersey. Prentice Hall.*
- [2] Ball, M.O., Magnanti, T.L., Monma, C.L., Nemhauser, G.L. Eds.(1995). *Network models. Handbooks in Operations Research and Management Science. Volumen 7. North Holland, Elsevier.*
- [3] Becker, G. *The economic way of lookin at life.* Department of Economics, University of Chicago, Chicago, IL. 60637, USA.
- [4] Briceño, A. *La educación y su efecto en la formación de capital humano y en el desarrollo económico de los países,* Apuntes del CENES, 2011.
- [5] Belford, P.C y Ratliff, H.D. *A network flow model for racially balancing schools.* Operations Research 20(3), 619-628.
- [6] Berthold, T., Gamrath, G., Gleixner, A., Heinz, S., Koch, T., Shinano, Y. *Solving mixed integer linear and nonlinear problems using the SCIP Optimization Suite.*
- [7] Presidencia de la República del Ecuador. *Constitución de la República del Ecuador.* 2008
- [8] Cuéllar, C. *Análisis y estimación de la contribución de los factores capitla físico y capital humano, en la tasa de crecimiento económico de Colombia 1981 - 2005.*
- [9] De la Fuente, A. *Capital Humano y crecimiento: Nuevas series de escolarización y algunos resultados de la OCDE,* Instituto de Análisis Económico (CSIC), 2002.

- [10] Dario HOY. *Problemas de la zonificación para cupos de matrículas*, <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/problemas-de-la-zonificacion-para-cups-de-matriculas-559611.html>. [Consulta: marzo 2013].
- [11] Galindo, M. *Crecimiento Económico*, Tendencias y nuevos desarrollos de la Teoría Económica N. 858, 2011.
- [12] Elizondo R. *Solving very large scale school/student assignment problems*. Technical Report TR93-48. Rice University, revisado en <http://www.caam.rice.edu/caam/trs/93/TR93-48.pdf>.
- [13] Fuentes, R., Vatter, J. *Los efectos de la inversión en capital humano e investigación y desarrollo en el crecimiento económico. Un análisis comparativo*.
- [14] Gac, I., Martínez, F. y Weintraub, A. *A deterministic linear optimization model for allocating schools to zones*. Journal of the Operational Research Society, 69, 895-905.
- [15] Giménez, G. *La dotación de capital humano de América Latina y el Caribe*, Revista de la CEPAL 86, 2005.
- [16] Guisán, C. *Modelos de crecimiento y desarrollo económico*.
- [17] Instituto Nacional de Estadística y Censos. *El Censo informa: Educación*.
- [18] Ecuador. *Ley Orgánica de Educación Intercultural*. Registro Oficial Órgano del Gobierno del Ecuador, 31 de marzo de 2011, núm. 417, p.46.
- [19] Lieberman, H. *Investigación de Operaciones*, Séptima Edición.
- [20] Loebel, A. *Mcf 1.3. A network simplex implementation*. Zuse Institute Berlin.
- [21] McKeown, P. y Workman, B. (1976). *A study in using linear programming to assign students to schools*.
- [22] Ministerio de Educación del Ecuador. *Archivo Maestro de Instituciones Educativas 2007–2008*, <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/problemas-de-la-zonificacion-para-cups-de-matriculas-559611.html>. [Consulta: enero 2013].

- [23] Ministerio de Educación del Ecuador. *Reorganización territorial*. Recuperado el 30 de mayo 2013 de la página web.
- [24] Moreno, J. *Economía de la Educación*, Ediciones Pirámide 2009.
- [25] Pizzolato, N.D. y Fraga da Silva, H.B. (1997). *The location of public schools: Evaluation of practical experiences*. *International Transactions in Operations Research*, 4(1), 13-22.
- [26] Pizzolato, N.D., Broseghini, F. y Nogueira, L. (2004). *School location methodology in urban areas of developing countries*. *International Transactions in Operations Research*, 11(6), 667-681.
- [27] Schultz, T. *Investment in Human Capital*. *The American Economic Review*, Vol. 51, N. 1 (Mar., 1961), 1–17.
- [28] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. *Plan Nacional para el Buen Vivir 2013 – 2017*, <http://www.buenvivir.gob.ec> [Consulta: marzo 2013]
- [29] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. *Plan Nacional de Descentralización 2012 – 2015*, <http://www.planificacion.gob.ec/plan-nacional-de-descentralizacion/> [Consulta: marzo 2013]
- [30] Subsecretaría de Educación del Distrito Metropolitano de Quito, comunicación personal.
- [31] Terrones, M., Calderón, C. *Educación, capital humano y crecimiento económico: El caso de América Latina*.

ANEXOS

ANEXO A. PROGRAMAS UTILIZADOS

ANEXO A.1 SCIP 1.2

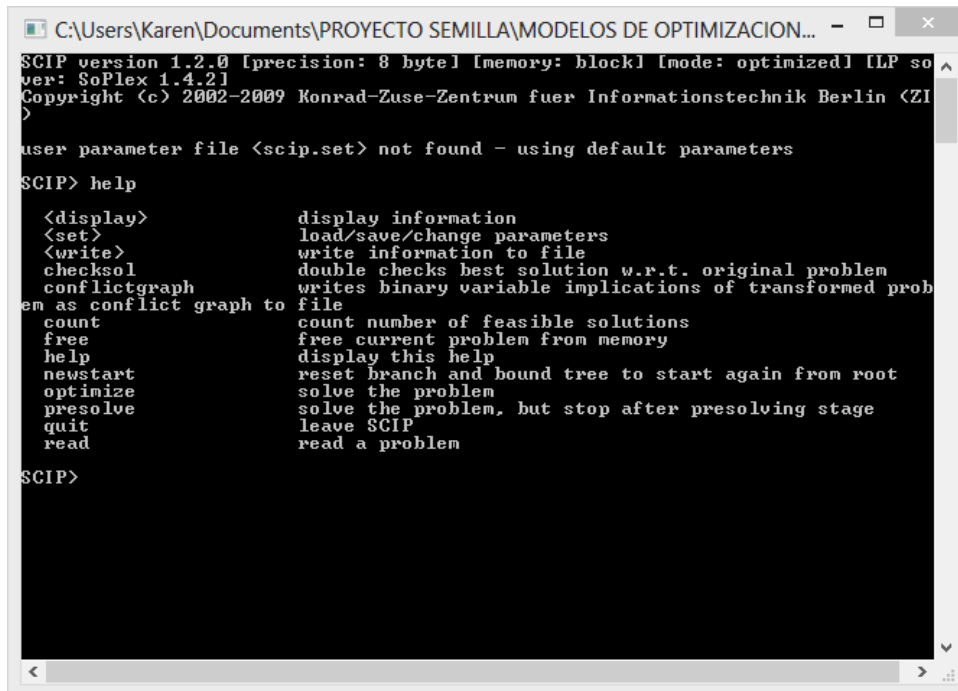
Se trata de un software que facilita la modelización y resolución problemas de optimización, cuenta con tres herramientas fundamentales [6]:

- **SCIP:** Actualmente, SCIP (Solving Constraint Integer Programs), el solver desarrollado en el Zuse Institute Berlin – ZIB, es uno de los solvers no comerciales más rápidos de programas enteros mixtos (MIP), programas lineales (LP) y programas enteros mixtos no lineales (MINLP).
- **ZIMPL:** Se caracteriza por su lenguaje de modelado fácil de aprender pues su sintaxis es muy parecida a la notación matemática estándar y que está bien integrada en SCIP.
- **SOPLEX:** Se trata de una implementación avanzada del método simplex utilizado para resolver programas lineales, ya sea independientemente o dentro de SCIP.

ZIMPL (Zuse Institute Mathematical Programming Language) es un potente lenguaje para describir programas matemáticos y una herramienta para convertir estos programas en archivos lp o mps. Zimpl está perfectamente integrado con SCIP y por tanto proporciona una forma sencilla de modelar LP, MIP o MINLP. En particular ZIMPL:

- tiene una sintaxis clara muy cercana a la notación matemática.
- es rápido y fácil de aprender.
- permite una separación clara entre el modelo y los datos.

- está disponible gratuitamente.
- es altamente portable (Linux, Windows, Mac, Solaris).
- es un solver independiente.
- se puede utilizar de manera independiente o vinculado a algún tipo de solver.



```

C:\Users\Karen\Documents\PROYECTO SEMILLA\MODELOS DE OPTIMIZACION...
SCIP version 1.2.0 [precision: 8 byte] [memory: block] [mode: optimized] LLP so
ver: SoPlex 1.4.2]
Copyright (c) 2002-2009 Konrad-Zuse-Zentrum fuer Informationstechnik Berlin (ZIB)

user parameter file <scip.set> not found - using default parameters

SCIP> help

<display>          display information
<set>              load/save/change parameters
<write>           write information to file
checksol          double checks best solution w.r.t. original problem
conflictgraph     writes binary variable implications of transformed prob
em as conflict graph to file
count            count number of feasible solutions
free            free current problem from memory
help            display this help
newstart        reset branch and bound tree to start again from root
optimize        solve the problem
presolve        solve the problem, but stop after presolving stage
quit           leave SCIP
read           read a problem

SCIP>

```

Figura 1: SCIP 1.2.0.

Los modelos del Escenario 3, fueron resueltos en SCIP para cada uno de los distritos.

ANEXO A.2 MCF-1.3

En el solver especializado mcf-1.3 [20], también desarrollado en el Zuse Institute Berlin – ZIB, se encuentra implementado el algoritmo primal-dual del simplex en redes. MCF ha sido probado con varias clases de problemas NETGEN generados de modo artificial y problemas reales de telecomunicaciones y la programación del vehículo.

Su código ha sido comprobado con Purify, lo que hace de su implementación muy fiable, robusta e incluso aquellos casos reales verdaderamente grandes con varios

miles de nodos y varios millones de arcos ha sido posible resolverlos rápidamente.

```

C:\Users\Karen\Documents\PROYECTO SEMILLA\MODELOS DE OPTIMIZACION\...
Network simplex for the minimum-cost flow problem Vers. 1.3.1
  Written by Andreas Loebel.

Copyright (c) 1997-2000 ZIB.      All Rights Reserved.
Copyright (c) 2000-2003 ZIB & Loebel.  All Rights Reserved.

enter <help> or <?> for help
primal network simplex > ?
Syntax is: MCF [ options ] inputfile [
Options:
-d          use the dual network simplex code
-px        pivot strategy
           x = n >> multiple partial pricing (default)
           c >> cycle-smallest index
           a >> most invalid
-o         optimize problem
-u         display solution
-w [name]  write solution in DIMACS output format to
           file "name" or append it to the input file
-e         no messages
-q         exit at the end
-h         show this help text

Commands:
help (or ?)      display help text
read [filename]  read a new problem from file
load [filename]  read a new problem from file
write [filename] write solution to file
optimize        optimize
display        write solution to terminal
status        display used routines by simplex
pivot <m,c,a>   select pivot strategy
               m >> multiple partial pricing
               c >> cycle-smallest index
               a >> most invalid
primal        switch to primal network simplex
dual          switch to dual network simplex
system       issue a shell command
quit         terminate program

primal network simplex >

```

Figura 2: MCF-1.3

Los escenarios 1, 2 y 4 ofrecen una solución al problema de asignación de cupos a gran escala con el software MCF. El proceso básicamente consistió en:

- La generación de los archivos de entrada (ANEXOS B.1, B.2 B.3) para el MCF–1.3, para ello se utilizó el programa libre de C++ conocido como Code::Blocks en su versión 10.05. En él, se construyó la plataforma del modelo que incluye tres archivos que hacen referencia a los datos de los estudiantes, las instituciones educativas y las distancias aproximadas que fueron calculadas a nivel parroquial. El primer archivo es una lista de los 31.572 estudiantes con su respectivo número de identificación y la parroquia de residencia. El siguiente archivo es una lista de las 212 instituciones educativas con su número de identificación, capacidad y la parroquia donde se ubica. El último, es una tabla de 63 x 63 que indica la distancia entre parroquias.

- La compilación genera un archivo de salida, el cual es leído por el MCF–1.3. La Figura 2 señala los comandos utilizados para obtener la solución del problema.
- Finalmente se procesa el último archivo generado con la solución, a través programas desarrollados con Microsoft Visual Basic, esto con el propósito de realizar los reportes finales que permitan un análisis detallado de la solución encontrada, los mismos que se presentaron en el capítulo de resultados numéricos.

ANEXO B. ARCHIVOS DE ENTRADA

ANEXO B.1 OFERTA Y DEMANDA EDUCATIVA POR CIRCUITO

Para las primeras pruebas realizadas, que fueron a nivel de circuitos del DMQ, la oferta y demanda para los 42 de los 45 circuitos, porque 3 corresponden al distrito 1, se describen en la Tabla 1.

N.	DEMANDA	OFERTA	N.	DEMANDA	OFERTA
C1	406	266	C22	1234	2271
C2	603	705	C23	289	79
C3	1179	924	C24	439	510
C4	328	187	C25	1773	1407
C5	101	132	C26	1788	2314
C6	74	42	C27	859	1306
C7	128	89	C28	1628	1439
C8	719	902	C29	1249	1277
C9	1094	679	C30	419	220
C10	695	625	C31	1182	803
C11	305	302	C32	716	244
C12	609	508	C33	1553	8
C13	227	328	C34	711	465
C14	392	151	C35	405	221
C15	1200	1052	C36	517	263
C16	837	172	C37	458	187
C17	1310	1926	C38	899	466
C18	812	633	C39	319	366

C19	722	281	C40	649	463
C20	1203	1659	C41	469	500
C21	569	944	C42	503	623

Tabla 1: Oferta y demanda educativa por circuitos, estimadas para octavo año de EGB en el DMQ.

El DMQ se divide en 65 parroquias, pero 4 son excluidas porque corresponden al distrito 1; sin embargo, se listan 63, dado que se identifica en los mapas proporcionados por las autoridades educativas, que tanto Calderón–Carapungo como Jipijapa son parroquias que se dividen en dos.

N.	PARROQUIA	DEMANDA	OFERTA
1	Llano Chico	406	266
2	Calderón–Carapungo 1	603	705
3	Calderón–Carapungo 2	1179	924
4	Guayllabamba	328	187
5	Puéllaro	101	132
6	Perucho	14	0
7	Chavezpamba	15	0
8	Atahualpa	45	42
9	San José de Minas	128	89
10	Nono	14	25
11	El Condado	705	877
12	Cotocollao	596	176
13	Ponceano	498	503
14	Calacalí	101	72
15	San Antonio	594	553
16	Pomasqui	305	302
17	Carcelén	609	508

18	Comité del Pueblo	227	328
19	Puengasí	392	151
20	Centro Histórico	1200	1052
21	La Libertad	837	172
22	San Juan	1310	1926
23	Itchimbía	812	633
24	Concepción	722	281
25	Rumipamba	0	0
26	Iñaquito	1007	1284
27	Mariscal Sucre	196	375
28	Belisario Quevedo	569	944
29	Kennedy	773	1130
30	San Isidro del Inca	259	451
31	Jipijapa 1	144	656
32	Zámbiza	58	34
33	Jipijapa 2	143	0
34	Nayón	146	79
35	Cochapamba	439	5100
36	Chilibulo	1093	372
37	La Madgalena	680	1035
38	San Bartolo	1788	2314
39	Chimbacalle	859	1306
40	La Ferroviaria	979	944
41	La Argelia	649	495
42	Solanda	1249	1277
43	Lloa	26	6
44	La Mena	393	214
45	La Ecuatoriana	629	635
46	Chillogallo	553	168

47	Guamaní	716	244
48	Quitumbe	792	516
49	Turubamba	761	352
50	Conocoto	711	465
51	Pintag	405	221
52	Amaguaña	517	263
53	Guangopolo	33	17
54	Alangasí	309	16
55	La Merced	116	154
56	Tumbaco	899	466
57	Cumbayá	319	366
58	Puembo	287	209
59	Pifo	362	254
60	Tababela	91	78
61	Yaruquí	378	422
62	El Quinche	297	503
63	Checa	206	120

Tabla 2: Oferta y demanda educativa por parroquias, estimadas para octavo año de EGB en el DMQ.

ANEXO B.2 OFERTA EDUCATIVA POR INSTITUCIÓN

Las tablas anteriores detallan la cantidad de oferta disponible en cada circuito o su vez en cada parroquia, a continuación en la Tabla 3 se listan de manera descendente, por su disponibilidad de cupos, las instituciones educativas que ofertan octavo año de EGB en el DMQ.

N.	INSTITUCIÓN	OFERTA
1	INSTITUTO NACIONAL MEJIA	830

2	CONSEJO PROVINCIAL DE PICHINCHA	691
3	JUAN PIO MONTUFAR	553
4	SIMON BOLIVAR	540
5	ELOY ALFARO	501
6	ABDON CALDERON	488
7	24 DE MAYO	476
8	CENTRAL TECNICO	473
9	INSTITUTO TECNOLOGICO SUPERIOR GRAN COLOMBIA	470
10	HUMANISTICO QUITO	452
11	MARIA ANGELICA IDROBO	450
12	BENITO JUAREZ	435
13	LUCIANO ANDRADE MARIN	389
14	DR EMILIO UZCATEGUI	377
15	MANUELA CAÑIZARES	375
16	MITAD DEL MUNDO	370
17	AMAZONAS	368
18	TECNICO SUCRE	353
19	CINCO DE JUNIO	344
20	CARDENAL CARLOS MARA DE LA TORRE	344
21	MIGUEL DE SANTIAGO	327
22	SHYRIS	326
23	YARUQUI	313
24	CAMILO PONCE ENRIQUEZ	308
25	ANDRES F CORDOVA	295
26	SANTIAGO DE GUAYAQUIL	286
27	GONZALO ESCUDERO	276
28	UNE	274
29	TARQUI	274
30	RAFAEL LARREA ANDRADE	271

31	HELENA CORTES BEDOYA RED Q5	262
32	ANDRES BELLO	262
33	POMASQUI	260
34	LUIS NAPOLEON DILLON	257
35	CONOCOTO	248
36	ARTURO BORJA	242
37	GONZALO ZALDUMBIDE	236
38	DR. MANUEL BENJAMIN CARRION MORA	235
39	LUXEMBURGO	229
40	REPUBLICA DE RUMANIA	229
41	DIEZ DE AGOSTO	224
42	NICOLAS JIMENEZ	223
43	15 DE DICIEMBRE	223
44	POLICIA NACIONAL	221
45	HIPATIA CARDENAS DE BUSTAMANTE	216
46	TUMBACO	214
47	JORGE MANTILLA ORTEGA	208
48	CUMBAYA	205
49	GENERAL PINTAG	202
50	COLEGIO MENOR UNIVERSIDAD CENTRAL	201
51	PRIMICIAS DE LA CULTURA DE QUITO	199
52	ECONOMISTA ABDON CALDERON	198
53	EUGENIO ESPEJO	191
54	LEONARDO MALDONADO PEREZ	188
55	RAUL ANDRADE	183
56	JOSE DE LA CUADRA	179
57	QUITO SUR	178
58	EDUARDO SALAZAR GOMEZ	173
59	SIXTO DURAN BALLEEN	166

60	LIGDANO CHAVEZ	163
61	JORGE ICAZA	163
62	CARLOS ZAMBRANO OREJUELA	161
63	VICENTE ROCAFUERTE	161
64	PROF PEDRO ECHEVERRIA TERAN	161
65	GUAYLLABAMBA	156
66	MARQUESA DE SOLANDA	156
67	MANUEL ABAD	155
68	DARIO GUEVARA MAYORGA	147
69	SAN FRANCISCO DE QUITO	145
70	GRAN BRETAA	144
71	AIDA GALLEGOS DE MONCAYO	143
72	GENERAL RUMIAHUI	142
73	CIUDAD DE SAN GABRIEL Q7	138
74	ALANGASI	136
75	MARIA ANGELICA CARRILLO MATA MARTINEZ	132
76	PRIMICIAS DE LA CULTURA DE QUITO	132
77	ANGEL MODESTO PAREDES	130
78	DR. RICARDO CORNEJO	128
79	J M JIJON CAAMANO Y FLORES	120
80	ALFONSO LASO BERMEO	118
81	ATANASIO VITERI	116
82	6 DE DICIEMBRE	113
83	MUSHUC PACARI	112
84	DR. JOSE MARIA VELASCO IBARRA	111
85	UBILLS	110
86	PICHINCHA	110
87	FEDERICO GONZALEZ SUAREZ	109
88	ANA MAC AULIFFE	109

89	CELIANO MONGE	107
90	DR MIGUEL ANGEL ZAMBRANO	104
91	HUMBERTO MATA MARTINEZ	104
92	11 DE MARZO	104
93	ALEXANDER VON HUMBOLDT	103
94	LUIS FELIPE BORJA DEL ALCAZAR	103
95	TCNICO TENIENTE HUGO ORTIZ	102
96	LLANO CHICO	99
97	PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD	96
98	FRAY JODOCO RICKE	93
99	VENCEDORES	91
100	MANUEL CORDOVA GALARZA	90
101	12 DE OCTUBRE	90
102	AMABLE ARAUZ	90
103	SAN JOSE DE MINAS	89
104	JORGE MANTILLA ORTEGA	89
105	ROSARIO GONZLEZ DE MURILLO	86
106	OSCAR EFREN REYES	84
107	REPUBLICA DE MEXICO	82
108	PUELLARO	80
109	SAN CARLOS	80
110	JAVIER RIOFRIO SAMANIEGO	80
111	BENITO JUAREZ	79
112	3 DE DICIEMBRE	78
113	ROBERTO ARREGUI MOSCOSO	75
114	SANTA TERESITA	74
115	CALACALI	72
116	REPUBLICA DE BOLIVIA	72
117	UNION NACIONAL DE PERIODISTAS	72

118	ONCE DE FEBRERO	72
119	GLENDA ALCIVAR DE BUCARAM	71
120	DANIEL ENRIQUE PROAO	70
121	ATAHUALPA	69
122	BRETHREN	68
123	MANUEL KANT	68
124	CAPITAN ALFONSO ARROYO AGUIRRE	68
125	RICARDO RODRIGUEZ	66
126	JULIO TOBAR DONOSO	65
127	CLUB ARABE ECUATORIANO	63
128	10 DE AGOSTO	63
129	LUIS FELIPE BORJA	63
130	VICTOR MANUEL PEAHERRERA	63
131	FEDERICO GARCIA LORCA	62
132	LUIS ENRIQUE RAZA BOLAOS	61
133	PIO JARAMILLO ALVARADO	61
134	VALENCIA HERRERA	60
135	8 DE SEPTIEMBRE	59
136	MAYOR GALO MOLINA	58
137	CAMINO DEL INCA	57
138	LUIS G. TUFINO	56
139	YARUQUI	56
140	JORGE WASHINGTON	54
141	MARIA ANGELICA IDROBO	54
142	LUIS STACEY	53
143	SALAMANCA	53
144	REPUBLICA DEL BRASIL	53
145	PEDRO BOUGUER	53
146	DIEGO ABAD DE CEPEDA	52

147	JOSE MEJIA DEL VALLE	52
148	INSTITUTO FISCAL JOSE MARTI	52
149	FORESTAL	52
150	COOPERATIVA DE DESARROLLO COMUNAL TARQUI	51
151	RAFAEL CRUZ CEVALLOS	49
152	DOMINGO FAUSTINO SARMIENTO	48
153	REPUBLICA DE IRAK	48
154	MANUEL QUIROGA	48
155	LUCILA SANTOS DE AROSEMENA	47
156	CIUDAD DE CUENCA	47
157	CAMILO GALLEGOS TOLEDO	47
158	NICOLAS GUILLEN	46
159	LA PAZ	45
160	GABRIELA MISTRAL	45
161	ABELARDO MONCAYO	44
162	NUMA POMPILIO LLONA	43
163	PLINIO ROBALINO	43
164	ESPAA	42
165	PROCER ANTONIO AGUIRRE	42
166	MARIA HELENA SALAZAR DE PEREZ	42
167	GUAYAQUIL	42
168	CAMILO GALLEGOS DOMINGUEZ	42
169	DOCTOR ARTURO FREIRE	39
170	JORGE ICAZA	39
171	UNIDAD EDUCATIVA INTERCULTURAL BILINGUE LA PAZ	37
172	LUZ Y VIDA	36
173	PRIMERO DE MAYO	36
174	ROSA MARIA LOPEZ BACA	36
175	PEDRO LUIS CALERO	34

176	JOSE MARIA VARGAS	34
177	REPUBLICA DE NICARAGUA	33
178	JACINTO COLLAHUAZO	32
179	PISULI	32
180	ANDRES BELLO	32
181	COMUNIDAD DE MADRID	31
182	LUIS PASTEUR	31
183	DIARIO EL COMERCIO	30
184	PEDRO ZAMBRANO IZAGUIRRE	29
185	POPULAR FISCAL JUAN MONTALVO	27
186	BENJAMIN CARRION	26
187	LA ESPERANZA	26
188	NONO	25
189	DR. RUPERTO ALARCON FALCONI	25
190	ATAHUALPA	23
191	DR. LUIS EGUIGUREN	23
192	GRAL MARCO AURELIO SUBIA MARTINEZ	22
193	JUAN DIEGO	21
194	JOAQUIN SANCHEZ DE ORELLANA	21
195	24 DE JULIO	20
196	ANTISANA	19
197	BARTOLOME DE LAS CASAS	19
198	ALEJANDRO ANDRADE CUELLO	18
199	ANTONIO DE ULLOA	18
200	BELLO HORIZONTE	18
201	PEDRO JOSE ARTETA	17
202	ROBERTO CRUZ ARTESANAL	16
203	ANGEL POLIBIO CORDOVA SANTANDER ARTESANAL	16
204	JOSE MARIA VELASCO IBARRA	16

205	MANUELA CAIZARES	15
206	PIFO	15
207	NICOLAS JAVIER GORIVAR	14
208	JUAN MONTALVO	11
209	ILALO	10
210	LETICIA REALPE	7
211	PICHINCHA	6
212	POPULAR REGULAR FAUSTO MOLINA	6
TOTAL		28799

Tabla 3: Instituciones educativas del DMQ que ofertan octavo año de EGB.

ANEXO B.3 DISTANCIAS ESTIMADAS PARA CADA DISTRITO

El último elemento fundamental en los modelos de optimización, corresponde al costo asociado a la asignación de cupos a los estudiantes. Como ya se indicó en el Capítulo 3, se utilizaron dos métodos que mediante pruebas realizadas se contrastaron los resultados obtenidos, de manera que se identificó el cálculo de distancias aproximado en kilómetros, como aquel que resulta pertinente para dar solución al problema. A continuación se muestran las distancias calculadas de acuerdo a los dos métodos de cálculo para cada uno de los distritos y mismos con los que se desarrollaron las pruebas experimentales, cuyos resultados se dieron a conocer en el Capítulo 4.

Con el primero método de cálculo se obtuvo:

	C1	C2	C3	C4
C1	0	2	1	1

C2	2	0	2	1
C3	1	2	0	2
C4	1	1	2	0

Tabla 4: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 2.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
C1	0	1	2	2	4	1	2	3	4
C2	1	0	1	2	3	1	2	3	4
C3	2	1	0	2	4	1	2	3	4
C4	2	2	2	0	1	1	1	1	2
C5	4	3	4	1	0	3	2	1	1
C6	1	1	1	1	3	0	1	2	3
C7	2	2	2	1	2	1	0	1	2
C8	3	3	3	1	1	2	1	0	1
C9	4	4	4	2	1	3	2	1	0

Tabla 5: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 3.

	C1	C2	C3	C4
C1	0	2	1	1
C2	2	0	2	1
C3	1	2	0	2
C4	1	1	2	0

Tabla 6: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 4.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0	1	1	1	1	1
C2	1	0	1	2	1	2
C3	1	1	0	3	2	2
C4	1	2	3	0	1	2
C5	1	1	2	1	0	3
C6	1	2	2	2	3	0

Tabla 7: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 5.

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
C1	0	1	1	2	2	1
C2	1	0	2	1	1	2
C3	1	2	0	1	3	3
C4	2	1	1	0	1	3
C5	2	1	3	1	0	2
C6	1	2	3	3	2	0

Tabla 8: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 6.

	C1	C2	C3
C1	0	1	2
C2	1	0	1
C3	2	1	0

Tabla 9: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 7.

	C1	C2	C3	C4
C1	0	2	1	1
C2	2	0	2	1
C3	1	2	0	2
C4	1	1	2	0

Tabla 10: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 8.

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	0	1	1	2	3
C2	1	0	2	3	4
C3	1	2	0	1	2
C4	2	3	1	0	1
C5	3	4	2	1	0

Tabla 11: Método 1: Cálculo de distancias entre circuitos del distrito 9.

Las distancias calculadas en kilómetros se especifican en las siguientes tablas, que incluyen aquellas estimadas entre parroquias de un mismo distrito y entre parroquias de otros distritos, esto con el objetivo de presentar la matriz simétrica de 63 x 63, formada con las distancias estimadas entre todas las parroquias que forman parte del estudio.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18
P1	0.00	3.90	9.20	20.80	55.10	55.90	57.90	67.10	73.10	34.30	16.10	10.00	8.70	29.20	32.80	19.20	9.20	5.70
P2	3.90	0.00	5.40	20.80	57.60	52.90	53.00	62.20	68.20	31.10	18.60	12.70	10.60	31.80	36.70	29.30	9.80	6.60
P3	9.20	5.40	0.00	22.70	63.80	59.10	53.00	62.20	68.20	31.10	18.60	12.70	10.60	31.80	36.70	29.30	9.80	6.60
P4	20.80	20.80	22.70	0.00	30.90	34.50	34.60	43.80	49.90	47.70	34.70	29.60	26.80	48.30	29.00	38.30	26.40	23.20
P5	55.10	57.60	63.80	30.90	0.00	19.90	24.60	33.60	45.70	67.70	49.60	56.30	54.20	55.80	31.00	41.8	47.2	55.90
P6	55.90	52.90	59.10	34.50	19.90	0.00	5.3	15.80	26.70	54.60	50.80	44.70	44.80	27.90	22.60	33.40	45.60	48.80
P7	57.90	53.00	59.20	34.60	24.60	5.3	0.00	11.30	20.00	67.30	53.50	47.10	46.00	48.40	24.80	37.60	43.90	49.50
P8	67.10	62.20	68.40	43.80	33.60	15.80	11.30	0.00	29.30	69.80	60.00	58.30	58.00	60.20	36.20	48.20	56.20	60.90
P9	73.10	68.20	74.40	49.90	45.70	26.70	20.00	29.30	0.00	82.40	68.80	64.68	63.6	65.20	42.00	54.20	59.90	68.50
P10	34.30	31.10	37.30	47.70	67.70	54.60	67.30	69.80	82.40	0.00	16.40	22.20	25	36.70	40.20	39.50	27.60	32.70
P11	16.10	18.60	24.80	34.70	49.60	27.90	53.50	60.00	68.80	16.40	0.00	5.60	6.50	38.80	27.90	15.90	11.10	12.00
P12	10.00	12.70	18.90	29.60	56.30	44.70	47.10	58.30	64.80	22.20	5.6	0.00	3.6	34.20	21.60	10.40	6.80	7.4
P13	8.70	10.60	16.80	26.80	54.20	44.80	46.00	58.00	63.60	25.00	6.50	3.60	0.00	35.20	24.00	12.10	3.40	5.20
P14	29.20	31.80	38.00	48.30	55.80	27.90	48.40	60.20	65.20	36.70	38.80	34.20	35.20	0.00	25.70	24.00	36.30	38.10
P15	32.80	36.70	42.90	29.00	31.00	22.60	24.80	36.20	42.00	40.20	27.90	21.60	24.00	25.70	0.00	21.80	24.20	35.80
P16	19.20	29.30	35.50	38.30	41.80	33.40	37.60	48.20	54.20	39.50	15.90	10.40	12.10	24.00	21.80	0.00	12.10	14.00
P17	9.20	9.80	16.00	26.40	47.20	45.60	43.90	56.20	59.90	27.60	11.10	6.80	3.40	36.30	24.20	12.10	0.00	4.50
P18	5.70	6.60	12.80	23.20	55.90	48.80	49.50	60.90	68.50	32.70	12.00	7.40	5.20	38.10	35.80	14.00	4.50	0.00

Tabla 12: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2 y 3.

	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35
P1	21.50	16.00	14.10	12.60	12.70	8.00	7.40	10.70	12.10	13.40	7.10	6.40	6.70	6.30	4.90	9.70	11.70
P2	27.60	23.70	23.80	22.00	22.20	17.90	17.30	18.50	21.40	21.00	13.90	17.50	16.20	23.30	13.90	18.40	19.40
P3	27.60	23.70	23.80	22.00	22.20	17.90	17.30	18.50	21.40	21.00	13.90	17.50	16.20	23.30	13.90	18.40	19.40
P4	45.00	40.70	40.50	38.50	28.10	34.60	34.00	35.20	38.30	37.70	30.70	31.30	32.90	29.00	30.70	35.20	35.70
P5	78.00	73.60	73.30	71.00	76.00	59.30	62.60	64.70	67.40	65.20	55.10	54.40	64.00	61.50	59.80	72.30	60.80
P6	88.90	71.00	71.90	69.80	70.20	70.20	73.60	66.60	69.30	67.10	53.60	54.50	55.80	63.80	56.60	64.40	66.00
P7	78.10	77.10	73.90	73.20	76.00	63.70	66.50	68.40	73.50	69.80	64.80	62.40	66.90	63.50	63.40	67.90	62.60
P8	87.30	86.30	83.10	82.40	85.20	72.90	75.70	77.60	82.70	79.00	73.90	71.60	76.10	72.70	72.60	77.10	71.80
P9	93.40	92.40	89.20	88.50	91.30	79.00	81.70	83.60	88.80	85.00	80.00	77.60	82.10	78.80	78.70	83.20	77.90
P10	42.10	31.80	36.30	33.80	34.80	23.30	27.00	35.00	32.20	29.60	28.90	32.00	31.10	38.50	32.40	38.10	22.10
P11	28.20	22.10	23.80	21.00	21.50	12.10	15.90	17.40	19.70	18.70	12.60	15.50	16.40	24.30	19.20	21.70	12.90
P12	16.80	13.10	14.70	13.30	13.20	3.20	9.00	13.50	10.60	10.70	5.40	7.00	10.20	14.00	12.10	15.00	4.70
P13	23.60	14.70	15.40	13.20	16.10	4.60	8.30	10.40	11.80	10.90	4.50	8.10	9.20	16.40	12.80	10.00	8.00
P14	49.40	38.90	47.40	37.60	40.80	35.20	39.00	36.10	39.20	37.50	30.20	34.20	30.20	37.30	32.40	38.30	36.10
P15	42.80	32.70	34.80	31.80	32.10	13.60	16.90	23.90	21.20	21.90	14.60	19.30	20.10	27.10	22.10	25.40	14.00
P16	35.20	24.30	34.10	25.20	24.30	13.60	16.90	23.90	21.20	21.90	14.60	19.30	20.10	27.10	22.10	25.40	14.00
P17	22.90	19.20	19.30	16.60	17.30	7.30	11.10	12.70	15.00	15.10	9.20	13.30	12.10	19.20	13.90	12.00	11.50
P18	29.00	18.10	16.70	13.30	13.90	5.40	8.50	9.60	12.20	11.20	5.00	5.70	6.90	14.70	9.00	14.50	7.30

Tabla 13: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2, 3, 4 y 5.

	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48	P49
P1	20.00	21.10	21.50	19.40	27.10	29.60	23.70	30.00	22.60	30.50	29.30	33.40	27.20	25.80
P2	24.20	28.60	29.90	27.70	34.90	38.20	32.10	36.70	30.60	38.20	41.40	39.30	34.10	31.40
P3	5.60	28.60	29.90	27.70	34.90	38.20	32.10	36.70	30.60	38.20	41.40	39.30	34.10	31.40
P4	47.00	45.30	46.40	44.30	51.90	55.00	48.80	53.80	47.60	54.20	51.80	57.20	50.90	48.60
P5	73.20	71.90	73.70	71.00	72.70	75.50	75.40	80.40	75.60	80.40	78.10	82.00	77.90	81.50
P6	84.20	82.80	84.70	81.90	83.70	86.40	86.40	91.30	86.60	91.30	89.10	93.00	88.90	92.50
P7	86.00	84.60	86.50	83.70	85.50	88.30	88.20	93.10	88.40	93.10	90.90	94.80	90.70	94.30
P8	95.00	93.60	95.40	92.70	94.40	97.20	97.20	102.10	97.30	102.10	99.90	103.70	99.70	103.20
P9	101.30	99.90	101.80	99.00	100.80	103.60	103.50	108.50	103.70	108.40	106.20	110.10	106.00	109.60
P10	36.20	35.70	40.20	43.30	39.80	41.20	41.80	45.30	40.60	48.30	45.40	48.80	44.00	42.50
P11	20.30	19.80	24.30	27.40	23.90	25.30	25.90	29.40	24.70	32.40	29.50	32.90	28.10	26.60
P12	15.90	15.90	18.10	18.80	18.30	20.20	20.20	24.90	24.00	25.80	26.60	29.40	22.40	28.00
P13	19.10	17.50	22.40	19.30	21.40	22.00	21.80	28.50	24.60	29.70	27.10	34.20	25.40	29.40
P14	39.80	40.10	42.30	42.50	44.70	43.60	42.90	54.70	46.10	50.50	48.50	55.40	50.90	46.50
P15	37.80	36.20	38.10	36.30	38.30	42.20	40.20	46.00	39.50	45.00	46.10	47.10	43.40	47.70
P16	26.90	26.50	28.90	25.50	27.60	32.00	32.20	37.70	30.00	34.10	32.10	40.90	35.60	39.30
P17	21.50	21.60	23.80	19.70	22.90	25.60	26.00	32.80	24.50	30.10	27.40	38.30	30.40	36.10
P18	18.60	17.90	20.50	19.90	22.60	25.80	22.90	29.30	21.50	26.20	24.30	31.30	25.60	31.10

Tabla 14: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2, 3, 6 y 7.

	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63
P1	29.60	49.00	44.60	29.20	35.80	25.00	19.50	15.40	29.30	29.50	39.30	38.90	48.60	46.30
P2	36.60	55.80	52.70	36.90	42.70	39.80	31.20	28.10	36.20	36.10	54.30	45.20	34.90	41.00
P3	36.60	55.80	52.70	36.90	42.70	39.80	31.20	28.10	36.20	36.10	54.30	45.20	34.90	41.00
P4	53.80	59.90	68.30	54.20	59.70	57.30	45.80	39.90	40.30	36.40	36.60	27.70	16.40	23.10
P5	76.70	90.90	86.30	88.00	87.80	92.90	72.60	78.40	61.80	72.00	63.60	58.90	46.80	52.70
P6	77.60	105.00	97.30	71.70	97.10	94.90	70.10	66.70	95.00	88.80	93.30	92.60	83.70	88.10
P7	79.40	106.80	99.10	82.10	89.00	93.90	75.60	81.40	67.70	81.80	68.30	66.80	54.40	60.50
P8	88.40	115.70	108.00	91.20	98.20	103.10	84.80	90.50	76.90	91.00	77.50	76.00	63.60	69.70
P9	94.70	122.10	114.40	97.30	104.30	109.10	90.90	96.60	83.00	97.10	83.50	82.10	69.70	75.80
P10	46.80	66.40	62.20	49.30	54.50	40.40	45.90	41.10	56.20	55.30	72.30	65.20	63.30	61.20
P11	30.90	50.50	46.30	33.40	38.60	24.50	30.00	25.20	40.30	39.40	56.40	49.30	47.40	45.30
P12	27.30	54.40	42.00	28.50	34.70	15.00	24.60	21.80	35.70	35.40	52.40	58.30	49.20	56.30
P13	26.90	54.20	44.20	33.70	43.60	18.30	25.90	21.00	33.10	36.20	48.70	55.10	45.20	50.20
P14	60.40	82.00	68.90	62.70	57.60	62.30	52.40	48.40	63.90	64.00	79.30	80.40	77.40	75.80
P15	54.20	75.30	60.50	55.00	62.40	39.90	44.00	40.80	55.30	56.90	35.10	73.10	74.80	69.40
P16	47.20	69.60	54.90	47.30	56.50	34.70	37.40	33.40	48.60	47.50	28.50	65.60	69.90	61.90
P17	36.40	52.60	50.20	39.40	45.70	23.50	27.40	24.50	39.40	43.90	23.80	55.30	57.20	56.00
P18	31.80	52.30	47.40	33.20	39.20	19.30	24.00	20.40	33.20	33.20	18.60	53.40	52.50	48.90

Tabla 15: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 2, 3, 8 y 9.

	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27	P28	P29	P30	P31	P32	P33	P34	P35
P19	0.00	6.70	7.20	7.75	6.40	16.60	12.00	10.80	8.60	11.00	16.30	18.10	14.30	22.40	16.70	20.50	17.20
P20	6.70	0.00	3.00	4.20	2.80	11.10	7.40	9.50	3.80	4.90	11.50	12.90	9.60	17.80	12.40	15.50	11.70
P21	7.20	3.00	0.00	2.90	6.70	12.20	8.10	11.10	5.40	5.70	12.20	14.10	11.20	18.60	13.30	17.30	11.40
P22	0.00	4.20	2.90	0.00	7.20	9.80	5.50	6.40	3.80	3.30	10.40	12.30	10.10	17.80	12.20	14.40	8.90
P23	6.40	2.80	6.70	7.20	0.00	10.10	6.70	5.10	2.50	4.40	10.50	12.00	8.90	14.70	10.30	15.90	10.90
P24	16.60	11.10	12.20	9.80	10.10	0.00	5.30	5.95	8.64	6.94	4.76	6.90	6.82	12.63	5.16	13.73	2.48
P25	12.00	7.40	8.10	5.50	6.70	5.30	0.00	3.39	6.12	2.85	5.37	6.23	6.31	11.80	3.98	12.94	4.57
P26	10.80	9.50	11.10	6.40	5.10	5.95	3.39	0.00	2.68	4.74	5.92	6.24	5.50	11.16	3.29	9.76	7.33
P27	8.60	3.80	5.40	3.80	2.50	8.64	6.12	2.68	0.00	2.79	8.18	9.06	8.30	26.63	5.95	12.33	9.84
P28	11.00	4.90	5.70	3.30	4.40	6.94	2.85	4.74	2.79	0.00	8.40	8.35	8.85	14.35	7.32	13.62	8.91
P29	16.30	11.50	12.20	10.40	10.50	4.76	5.37	5.92	8.18	8.40	0.00	2.41	4.99	10.74	3.43	12.86	5.92
P30	18.10	12.90	14.10	12.30	12.00	6.90	6.23	6.24	9.06	8.35	2.41	0.00	4.65	7.36	4.18	11.85	9.03
P31	14.30	9.60	11.20	10.10	8.90	6.82	6.31	5.50	8.30	8.85	4.99	4.65	0.00	5.63	2.60	10.99	10.96
P32	22.40	17.80	18.60	17.80	14.70	12.63	11.80	11.16	26.63	14.35	10.74	7.36	5.63	0.00	8.34	12.12	13.03
P33	16.70	12.40	13.30	12.20	10.30	5.16	3.98	3.29	5.95	7.32	3.43	4.18	2.60	8.34	0.00	8.67	7.80
P34	20.50	15.50	17.30	14.40	15.90	13.73	12.94	9.76	12.33	13.62	12.86	11.85	10.99	12.12	8.67	0.00	15.06
P35	17.20	11.70	11.40	8.90	10.90	2.48	4.57	7.33	9.84	8.91	5.92	9.03	10.96	13.03	7.80	15.06	0.00

Tabla 16: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 4 y 5.

	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48	P49
P19	10.20	6.80	11.20	4.60	4.70	8.40	13.10	21.30	13.90	18.10	17.70	24.10	12.20	15.90
P20	4.10	3.30	5.20	2.10	4.30	7.50	7.00	14.50	7.10	11.20	9.10	15.70	10.50	11.90
P21	3.30	2.30	4.70	3.10	5.00	6.70	6.80	12.70	6.80	10.80	8.80	12.90	11.50	14.00
P22	5.00	4.20	6.70	5.90	7.40	10.20	9.80	15.50	7.70	13.30	10.80	15.10	11.60	16.80
P23	7.40	5.80	8.50	4.40	8.20	11.00	12.40	17.00	10.40	15.70	13.20	16.50	12.40	17.60
P24	14.00	13.40	16.10	13.20	15.80	18.40	18.80	23.40	17.00	22.40	20.00	24.40	19.90	25.50
P25	10.50	10.00	12.90	10.00	12.20	14.80	15.80	18.30	13.40	18.50	16.30	20.50	16.40	21.60
P26	15.50	14.50	16.80	14.50	17.00	20.20	20.20	20.90	18.10	23.50	21.20	25.20	21.20	26.30
P27	9.70	7.40	9.60	7.00	9.70	12.60	14.20	18.90	12.40	17.90	15.50	17.90	13.90	19.60
P28	8.20	8.10	10.60	7.10	10.90	13.70	11.80	16.50	11.10	16.70	14.30	18.90	15.10	20.90
P29	14.40	13.80	16.80	13.30	17.20	19.60	19.60	23.80	17.60	22.80	20.60	25.50	21.40	26.60
P30	16.60	16.10	18.20	16.50	18.50	21.20	21.60	23.50	18.60	24.50	21.40	26.80	22.80	27.90
P31	15.90	15.30	18.20	11.60	15.30	18.50	17.90	23.50	18.80	24.20	21.20	23.70	19.60	24.80
P32	21.30	20.10	23.40	22.00	22.10	23.50	24.70	33.40	24.60	30.00	28.70	33.10	27.90	26.00
P33	15.80	16.30	18.00	13.80	17.60	20.00	19.70	23.00	18.80	24.20	21.70	25.80	21.80	27.40
P34	21.40	21.40	23.30	18.30	20.00	21.80	26.40	28.70	24.30	29.90	27.30	31.80	23.90	29.10
P35	13.70	13.20	15.70	14.90	16.40	18.80	18.60	21.30	16.70	22.70	19.60	24.20	21.70	26.10

Tabla 17: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 4, 5, 6 y 7.

	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63
P19	6.40	29.80	23.90	12.10	14.00	19.20	20.60	17.40	31.30	27.40	8.90	39.90	64.20	58.40
P20	11.00	35.40	26.30	16.20	19.00	24.30	20.10	15.90	29.00	30.80	46.90	38.80	49.30	44.70
P21	23.70	44.30	23.30	27.40	35.40	18.50	33.90	26.90	42.30	41.10	60.00	55.30	63.00	57.40
P22	14.60	35.70	29.70	17.90	22.50	28.10	17.00	12.70	25.80	27.80	48.20	41.10	46.20	43.40
P23	15.60	35.30	32.30	17.40	21.50	23.40	14.40	10.20	23.20	29.00	46.20	38.40	48.20	46.70
P24	25.60	47.20	38.70	28.90	31.40	32.30	22.70	17.60	33.20	31.80	47.00	39.70	47.00	45.10
P25	19.90	39.40	33.00	23.30	26.70	30.00	16.60	13.20	27.30	24.30	42.40	35.40	45.80	42.10
P26	23.40	38.60	32.30	23.40	24.90	29.00	13.70	10.60	24.30	23.70	39.90	32.80	41.90	38.30
P27	15.90	36.60	29.70	17.30	23.00	28.30	13.00	9.00	23.30	22.80	38.90	31.90	41.40	36.50
P28	16.90	36.40	30.30	18.20	24.30	29.30	14.50	11.10	23.30	24.50	33.50	35.60	45.00	39.30
P29	23.30	43.50	36.40	24.40	30.90	34.90	20.70	15.00	30.90	29.60	46.80	39.40	46.90	43.40
P30	22.90	42.40	36.40	24.30	30.20	32.90	18.10	13.30	29.40	28.00	50.20	39.40	47.30	42.60
P31	22.80	42.90	36.30	24.00	30.20	33.20	18.30	13.50	29.30	28.60	45.00	38.90	47.00	43.80
P32	29.40	49.20	43.00	30.20	37.20	41.60	20.30	16.70	31.90	30.90	47.60	40.00	46.40	44.60
P33	25.70	48.30	41.30	27.00	33.20	38.70	17.30	16.40	27.90	26.50	54.00	47.00	48.70	40.30
P34	23.60	42.70	36.70	23.30	30.20	34.20	13.90	10.10	24.40	23.70	40.00	33.20	43.40	37.60
P35	22.90	43.20	35.80	24.30	30.60	36.80	21.20	16.30	31.00	30.00	48.70	41.30	50.30	45.50

Tabla 18: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 4, 5, 8 y 9.

	P36	P37	P38	P39	P40	P41	P42	P43	P44	P45	P46	P47	P48	P49
P36	0.00	2.00	3.18	4.14	6.16	7.41	5.22	9.50	4.29	9.60	7.10	11.70	7.90	13.80
P37	2.00	0.00	4.16	2.00	3.86	5.76	6.03	10.20	5.00	10.10	7.70	12.30	8.20	12.80
P38	3.18	4.16	0.00	5.31	3.43	4.33	4.00	11.20	3.01	7.90	6.20	9.80	6.90	12.00
P39	4.14	2.00	5.31	0.00	2.04	7.06	6.82	12.90	6.46	11.10	8.60	13.00	7.70	12.20
P40	6.16	3.86	3.43	2.04	0.00	6.20	5.80	15.10	8.79	11.50	8.10	13.60	7.90	11.80
P41	7.41	5.76	4.33	7.06	6.20	0.00	3.74	16.00	7.90	8.70	6.30	11.50	3.90	8.10
P42	5.22	6.03	4.00	6.82	5.80	3.74	0.00	10.90	3.92	6.50	4.10	8.50	3.60	7.70
P43	9.50	10.20	11.20	12.90	15.10	16.00	10.90	0.00	8.50	13.50	9.30	16.80	13.30	12.00
P44	4.29	5.00	3.01	6.46	8.79	7.90	3.92	8.50	0.00	7.30	4.80	9.40	6.20	11.80
P45	9.60	10.10	7.90	11.10	11.50	8.70	6.50	13.50	7.30	0.00	4.90	7.40	6.30	9.70
P46	7.10	7.70	6.20	8.60	8.10	6.30	4.10	9.30	4.80	4.90	0.00	8.10	4.60	9.40
P47	11.70	12.30	9.80	13.00	13.60	11.50	8.50	16.80	9.40	7.40	8.10	0.00	5.30	3.30
P48	7.90	8.20	6.90	7.70	7.90	3.90	3.60	13.30	6.20	6.30	4.60	5.30	0.00	6.70
P49	13.80	12.80	12.00	12.20	11.80	8.10	7.70	12.00	11.80	9.70	9.40	3.30	6.70	0.00

Tabla 19: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 6 y 7.

	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63
P36	17.20	37.50	25.30	18.50	23.70	30.20	21.40	18.30	31.00	30.80	49.30	41.20	52.50	47.40
P37	15.50	35.40	23.70	16.30	22.50	29.30	19.80	16.60	29.60	29.00	49.00	38.10	52.10	47.20
P38	17.30	39.00	25.40	17.20	25.90	33.20	20.30	16.40	34.30	33.10	50.00	44.90	53.40	47.70
P39	12.30	34.70	23.30	13.20	20.40	28.30	18.60	15.70	28.00	28.80	44.30	38.60	47.30	44.30
P40	14.20	37.90	21.40	16.00	21.80	28.10	22.30	18.20	31.30	30.00	52.00	41.10	53.40	46.90
P41	16.80	38.10	19.30	17.30	25.00	29.00	21.20	17.30	33.00	31.50	52.00	44.20	54.60	49.20
P42	16.80	39.00	21.40	19.80	26.30	30.90	25.70	22.30	36.40	35.80	57.40	44.00	54.30	49.50
P43	24.00	46.30	27.30	26.10	33.40	39.00	32.20	25.30	42.60	42.00	59.00	51.30	61.30	56.50
P44	18.30	40.30	22.10	21.30	27.50	33.80	26.60	22.70	37.20	36.70	53.00	46.30	56.70	50.10
P45	23.80	44.20	23.40	25.70	31.50	35.80	32.40	26.90	41.10	40.90	58.00	50.00	60.10	56.20
P46	17.30	43.30	19.80	24.60	31.00	37.10	30.30	26.50	40.90	40.30	59.40	49.20	59.60	57.00
P47	21.10	38.40	12.30	29.20	34.10	40.20	34.70	27.30	45.20	46.50	67.10	55.50	64.90	59.40
P48	14.60	42.60	18.40	23.50	29.80	33.80	34.70	27.30	45.20	46.50	67.10	55.50	64.90	59.40
P49	14.80	42.60	21.40	22.00	25.30	31.20	24.50	20.10	37.20	37.50	53.80	46.20	56.10	51.00

Tabla 20: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 6, 7, 8 y 9.

	P50	P51	P52	P53	P54	P55	P56	P57	P58	P59	P60	P61	P62	P63
P50	0.00	25.49	13.66	11.26	8.36	13.01	23.50	19.60	34.20	32.10	51.30	38.90	52.70	49.60
P51	25.49	0.00	30.50	17.55	13.26	12.17	37.10	33.20	31.90	22.30	39.80	32.10	43.80	37.40
P52	13.66	30.50	0.00	21.16	17.78	18.88	35.40	32.10	46.20	38.90	55.10	48.20	58.20	51.20
P53	11.26	17.55	21.16	0.00	6.46	11.70	12.30	14.30	22.40	22.60	38.20	31.80	41.80	35.90
P54	8.36	13.26	17.78	6.46	0.00	13.18	30.20	20.40	25.30	23.10	45.20	36.10	43.20	41.30
P55	13.01	12.17	18.88	11.70	13.18	0.00	23.30	26.30	32.30	30.60	42.50	45.80	58.20	49.40
P56	23.50	37.10	35.40	12.30	30.20	23.30	0.00	6.50	10.00	10.10	15.40	18.40	26.00	21.90
P57	19.60	33.20	32.10	14.30	20.40	26.30	6.50	0.00	14.30	17.85	20.91	24.68	30.74	31.73
P58	34.20	31.90	46.20	22.40	25.30	32.30	10.00	14.30	0.00	11.20	16.70	16.40	22.80	20.10
P59	32.10	22.30	38.90	22.60	23.10	30.60	10.10	17.85	11.22	0.00	14.89	11.01	21.16	16.37
P60	51.30	39.80	55.10	38.20	45.20	42.50	15.40	20.90	16.70	14.80	0.00	5.90	14.80	13.10
P61	38.90	32.10	48.20	31.80	36.10	45.80	18.40	24.60	16.40	11.01	5.90	0.00	11.90	11.40
P62	52.70	43.80	58.20	41.80	43.20	58.20	26.30	74.20	2.87	21.16	14.84	11.90	0.00	5.90
P63	49.60	37.40	51.20	35.90	41.30	49.40	21.90	31.73	20.14	16.37	13.13	11.47	5.98	0.00

Tabla 21: Método 2: Cálculo de distancias entre parroquias de los distritos 8 y 9.

DISTRITOS	2-3	4-5	6-7	8-9
2-3	Tabla 12	Tabla 13	Tabla 14	Tabla 15
4-5		Tabla 16	Tabla 17	Tabla 18
6-7			Tabla 19	Tabla 20
8-9				Tabla 21

Tabla 22: Distancias estimadas en [km] entre parroquias del DMQ.

Este último cuadro es una representación gráfica de la matriz simétrica de distancias calculadas en kilómetros entre las 63 parroquias que se tomaron como caso de estudio.