



Departamento de Posgrados

Maestría en Geomática con mención en ordenamiento territorial - versión 1

Análisis espacial para la localización óptima de servicios educativos públicos en circuitos administrativos de planificación.

Estudiante

Ismael Salamea M.

Director

Daniel Orellana V.

Cuenca, Ecuador

2014

Dedicatoria

A mi abuelo y mis padres, por la confianza y el cariño...

Agradecimientos

A mi amigo Daniel Orellana, profesor de la maestría y director de este trabajo de graduación.

Al profesor Alejandro Guillen García, Director del Programa de Población y Desarrollo Local Sustentable, PYDLOS - Universidad de Cuenca, por acoger la realización de esta tesis en su línea de investigación Buen Vivir: Población y Territorio.

Al profesor Omar Delgado, por compartir sus conocimientos a través del proyecto de maestría.

Resumen

El presente trabajo enfoca la aplicación de análisis espacial para la localización óptima de equipamientos colectivos, específicamente de los servicios educativos de la ciudad de Cuenca. Con la aplicación de técnicas de análisis espacial y modelos de localización-asignación, se evalúa la localización actual y óptima potencial de los establecimientos para determinar sus índices de eficiencia, equidad y cobertura espacial. Los resultados indican que la distribución actual de los establecimientos en la zona de estudio no cumple con los principios de justicia espacial.

Adicionalmente se realiza un análisis del efecto que tiene la implementación de los circuitos administrativos en la asignación de la población a los servicios educativos para el área urbana de Cuenca. Los resultados indican que un 9% de la población requiere desplazarse distancias mayores como consecuencia de la implementación de los circuitos. Esto implica que la estrategia de descentralización por circuitos administrativos en el caso de Cuenca, no es la óptima en términos de justicia espacial. El aporte de esta investigación tiene dos componentes. Por un lado, propone una metodología viable para el apoyo a la toma de decisiones sobre la localización de servicios colectivos, y por otro lado demuestra la importancia del análisis espacial al momento de diseñar e implementar estrategias de descentralización de servicios públicos, así como los riesgos existentes al no tomar en cuenta las relaciones espaciales en dichas estrategias.

Palabras Clave: Localización óptima, justicia espacial, análisis espacial, modelos de localización-asignación, minisum, minimax, cobemax.

ABSTRACT

This graduation paper focuses on the application of spatial analysis for the optimal location of public facilities, specifically the educational services of the city of Cuenca. With the application of spatial analysis techniques and location-allocation models we evaluate the current location and optimal potential of the establishments to determine their rates of efficiency, equity and spatial coverage. The results indicate that the current distribution of establishments in the study area does not meet the principles of spatial justice.

Additionally, a further analysis of the effect that the implementation of administrative circuits has when assigning people to educational services for the urban area of Cuenca is performed. The results indicate that 9% of the population needs to travel longer distances due to the implementation of circuits, which implies that the decentralization strategy for administrative circuits, in the case of Cuenca, is not optimal in terms of spatial justice. The contribution of this research has two components. On the one hand, a feasible methodology to support the decision-making in regard to the location of community services is proposed. On the other hand the importance of spatial analysis when designing and implementing strategies for decentralization of public services as well as the risks existing when not taking into account the spatial relationships in these strategies are demonstrated.

Keywords: Optimal Location, Spatial Justice, Spatial Analysis, Location-Allocation Models, Minisum, Minimax, Cobemax.



Translated by, 

Lic. Lourdes Crespo

Índice de Contenido

Resumen	IV
Índice de Contenido	VI
1. Introducción.....	8
Localización de equipamientos colectivos.....	8
Modelos de localización	8
Estrategia de descentralización de servicios públicos en el Ecuador.....	11
Objetivos.....	12
Trabajos relacionados	12
2. Metodología.....	14
Sitio y objeto de estudio	14
Herramientas informáticas.....	16
Redatam SP	16
gvSIG	16
Sextante	16
Evaluación de la localización actual y potencial de los centros educativos.....	19
Determinación de la demanda	19
Base de datos geográfica	19
Aplicación de modelos de localización óptima.....	20
Cambios en la movilidad de la población a causa de los circuitos administrativos de planificación.....	20
3. Resultados.....	22
Evaluación y relocalización de centros de oferta.....	22
Cambios en la movilidad de la población a causa de los circuitos administrativos de planificación.....	30
4. Discusión.....	32
5. Limitaciones y próximos pasos.....	33
Bibliografía.....	35
Anexos.....	37

Índice de Tablas

Tabla 1 Atributos del archivo de resultados del algoritmo de localización óptima	18
Tabla 2 Rangos de clasificación de distancia.....	21
Tabla 3 Estadísticas de evaluación de centros de oferta en el circuito 01D01C04.....	22
Tabla 4 Estadísticas de relocalización de centros de oferta - 01D01C04.....	23
Tabla 5 Comparación entre resultados estadísticos – 01D01C04.	25
Tabla 6 Estadísticas de evaluación de centros de oferta existentes - 01D01C06	26
Tabla 7 Estadísticas de relocalización de los centros de oferta existentes - 01D01C06.....	27
Tabla 8 Comparación entre resultados estadísticos – 01D01C06.	29
Tabla 9 Rango de distancias de la demanda hacia los centros de oferta.....	31
Tabla 10 Modelos implementados en el algoritmo de localización óptima	40

Índice de Figuras

Figura 1 Ilustración simple de los elementos de un modelo de localización óptima	9
Figura 2 Ilustración simple de las diferencias entre modelos de localización.....	11
Figura 3 Distritos y Circuitos Administrativos de Planificación de la Ciudad de Cuenca	14
Figura 4 Distribución espacial de los centros de demanda y oferta existentes - 01D01C04 .	15
Figura 5 Distribución espacial de los centros de demanda y oferta existentes - 01D01C06 .	15
Figura 6 Listado de algoritmos SEXTANTE	17
Figura 7 Ventana de opciones del algoritmo de localización óptima de elementos	17
Figura 8 Ejemplo de estadísticas básicas de resultado.	18
Figura 9 Evaluación de centros de oferta existentes - 01D01C04	22
Figura 10 Relocalización de centros de oferta según modelo MINISUM – 01D01C04	23
Figura 11 Relocalización de centros de oferta según modelo MINIMAX - 01D01C04	24
Figura 12 Relocalización de centros de oferta según modelo COBEMAX – 01D01C04	24
Figura 13 Evaluación de centros de oferta existentes - 01D01C06	26
Figura 14 Relocalización de centros de oferta según modelo MINISUM – 01D01C06	27
Figura 15 Relocalización de centros de oferta según modelo MINIMAX – 01D01C06	28
Figura 16 Relocalización de centros de oferta según modelo COBEMAX – 01D01C06.....	28
Figura 17: Asignación de la población a los centros educativos en la ciudad de Cuenca.....	30
Figura 18 Porcentaje de población y la distancia hasta el establecimiento mas cercano.	32

Jorge Ismael Salamea Mena

Trabajo de Graduación

Daniel Orellana Vintimilla

Febrero, 2014

1. Introducción

Localización de equipamientos colectivos

Los equipamientos colectivos son dotaciones imprescindibles para el funcionamiento de la estructura social cuya labor, por consiguiente, debe ser garantizada por las administraciones públicas (Hernández Aja, Alguacil, Medina, & Moreno, 1997). La población hace uso de los servicios públicos bajo el término de que todos tienen derecho a usarlos en las mismas condiciones de acceso. Las administraciones públicas deben conducir la planificación y distribución de los servicios públicos con el objetivo de garantizar un acceso equilibrado de la población. Determinar el equilibrio justo entre la oferta de servicios y la demanda de los habitantes de un territorio, se convierte esencialmente en un problema de localización espacial.

La localización óptima de las actividades humanas sobre el territorio es una tarea de alta jerarquía para la mejora de la calidad de vida de la población. Efectivamente, la instalación en el espacio de los establecimientos colectivos es de gran importancia práctica y de fuerte impacto geográfico ya que la población usuaria de los servicios sociales necesita desplazarse hacia estos establecimientos, más aún, cuando se implementan reglamentaciones que establecen que la población usuaria de los servicios públicos atienda exclusivamente a aquellos existentes en el área en la cual reside, los patrones y sistemas de movilidad de esta población se verán fuertemente modificados. Por lo tanto resulta fundamental en la planificación de los servicios determinar si la localización geográfica actual de los establecimientos educativos promueven los principios básicos de la justicia espacial sobre la población (McAllister, 1976).

Modelos de localización

El enunciado básico de un problema de localización es el siguiente: "Dado un conjunto de puntos de demanda y un conjunto de posibles localizaciones de oferta actual y potencial, hallar su ubicación de forma que, al asignar los puntos de demanda a la oferta, se optimice alguna función de distancia, costo o tiempo de trayecto". Esta función suele denominarse función objetivo (Pérez-Brito, 1998).

Los elementos básicos de un problema de localización son: (1) los centros de demanda, (2) los centros de oferta existentes, y (3) los centros de oferta candidatos para la localización de la oferta. Los *centros de demanda* están representados por puntos que indican la ubicación geográfica de la población, es decir el sitio de residencia desde donde las

personas inician el desplazamiento para usar los servicios públicos; estos puntos tienen asociados un valor de demanda que representa la cantidad de usuarios potenciales del servicio en cuestión. Los *centros de oferta existentes* están representados por puntos que indican la ubicación geográfica de los establecimientos colectivos existentes en el territorio. Los *centros de oferta candidatos* están representados por puntos que indican la ubicación geográfica de los lugares en donde se puede implementar nuevos centros de oferta.

Los resultados de un modelo de localización determinan la ubicación óptima de los centros de oferta, y la asignación espacial de la demanda a dichos centros. La asignación espacial está representada por líneas que indican la distancia euclidiana entre la demanda asignada y la oferta. La Figura 1 muestra un ejemplo esquemático indicando la ubicación óptima de un nuevo centro de oferta y la correspondiente asignación de la demanda.

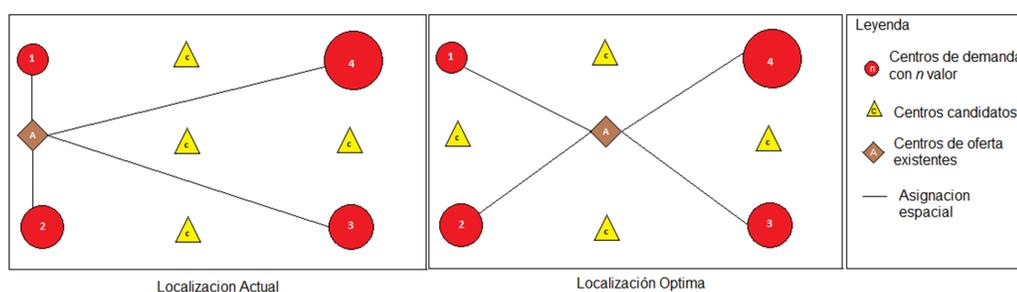


Figura 1 Ilustración simple de los elementos de un modelo de localización óptima

Para implementar operativamente soluciones a los problemas de localización se han desarrollado modelos de localización heurísticos basados en fórmulas matemáticas (Alp, Erkut, & Drezner, 2003). Estos modelos se basan en la aplicación iterativa de un algoritmo hasta lograr un valor sobresaliente.

Los modelos de localización óptima se encuentran diferenciados según si se aplican a equipamientos deseables (e.j. servicios educativos, de salud, recreación) o a equipamientos indeseables (e.j. vertederos, centros de reclusión, etc.) (Bosque & Franco Maass, 1995). El presente trabajo se centra en la oferta educativa siendo un tipo de equipamiento deseable.

Existen varios modelos de localización de instalaciones deseables y sus diferencias radican en el objetivo a optimizar (Bosque Sendra & Moreno Jiménez, 2004). En el presente trabajo se toman en consideración tres objetivos:

1. El objetivo de *eficiencia espacial*, que busca la reducción al mínimo de los costes de desplazamiento total de la demanda.
2. El objetivo de *equidad espacial* que busca distribuir de forma equitativa los costes de desplazamiento de la demanda.
3. El objetivo de *cobertura espacial*, que busca garantizar que la mayor cantidad de demanda goce de los menores costes de desplazamiento.

El objetivo de *eficiencia espacial* se implementa con el modelo matemático MINISUM que dado un número de centros de oferta calcula de entre los emplazamientos posibles la

distribución que minimizará el desplazamiento total de los usuarios, asignándoles al centro de oferta más próximo. Este modelo está basado en los desplazamientos de la demanda (Fórmula 1). Este es un modelo de eficiencia espacial ya que el desplazamiento total será el mínimo posible.

$$\text{Minimizar } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_i t_{ij}^{\beta} x_{ij}$$

Fórmula 1: Modelo MINISUM

Donde Z es el valor de la función objetivo, que debe ejecutar la demanda para acceder a la oferta, i es el sitio de demanda, m es la cantidad total de sitios de demanda, j es la identificación del sitio candidato, n es la cantidad de sitios candidatos, d_i es la cantidad de demanda del sitio i , t_{ij} es el valor del coste de desplazamiento entre i y j , x_{ij} toma valores entre 1 y 0, si la proporción de la demanda i es asignada a j . El exponente β sirve para variar los costes de distancia, según el tipo de desplazamiento, generalmente toma el valor de 1.

Para el objetivo de *equidad espacial*, se utiliza el modelo matemático MINIMAX, que dado un número de centros de oferta averigua de entre los emplazamientos posibles la distribución que minimiza el desplazamiento máximo necesario, asignando la demanda al centro de oferta más próximo. Se persigue maximizar la igualdad a través de forzar que el coste de desplazamiento al centro de oferta, desde el caso más perjudicado, sea la menor posible (Fórmula 2). Este es un modelo de equidad espacial ya que busca disminuir las diferencias de acceso a la oferta.

$$\text{Minimizar } F = \text{Max}_{i=1, \dots, m} d_i t_{ij} x_{ij}$$

Fórmula 2: Modelo MINIMAX

El objetivo de *cobertura máxima* de la demanda se define con el modelo matemático COBEMAX que dado un número de centros de oferta a instalar determina de entre los emplazamientos posibles la distribución que garantiza que el máximo posible de usuarios esté dentro de un radio de distancia o coste de desplazamiento (Fórmula 3). Este es un modelo de óptima cobertura espacial ya que busca cubrir la mayor demanda posible, independientemente del desplazamiento.

$$\text{Maximizar } F = \sum_{i=1}^m d_i x_{ij}$$

Fórmula 3 Modelo COBEMAX

Con la aplicación de los modelos matemáticos se determina las localizaciones óptimas de los centros de oferta, según cada objetivo. Además se calcula los desplazamientos de la demanda hacia los centros de oferta. Cada modelo puede generar resultados diferentes (Figura 2).

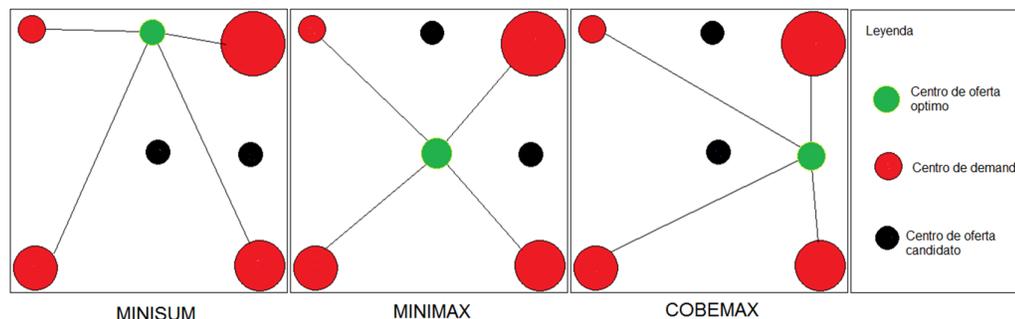


Figura 2 Ilustración simple de las diferencias entre modelos de localización

Estrategia de descentralización de servicios públicos en el Ecuador.

El estado ecuatoriano implementa una estrategia de descentralización para garantizar la distribución de servicios públicos de calidad para la ciudadanía. La estrategia busca acortar distancias entre gobernados y gobernantes mejorando la compleja articulación entre los diferentes niveles administrativos de gobierno. Para la puesta en práctica de la estrategia se han generado nuevas divisiones territoriales de nivel jerárquico denominadas niveles administrativos de planificación (NAPs) (Registro Oficial N° 290, 2012). Los NAPs se subdividen en zonas, distritos y circuitos. Las zonas están conformadas por provincias, de acuerdo a una proximidad geográfica, cultural y económica. El distrito coincide con un cantón, unión de cantones, o parte de un cantón y tiene un aproximado de 90.000 habitantes. La unidad mínima de planificación se denomina circuito, que corresponde a una parroquia, conjunto de parroquias, o parte de una parroquia y que contienen aproximadamente 11.000 habitantes. El circuito es el territorio donde se busca que el conjunto de servicios públicos de calidad estén al alcance de la ciudadanía (SENPLADES, 2012).

La estrategia de descentralización proyecta la desconcentración de los servicios públicos sobre la población tomando como referencia la jerarquización mencionada de unidades territoriales. Esta zonificación tiene implicaciones importantes, tales como la asignación de la población a los establecimientos colectivos que prestan los servicios sociales en su sector. Es así que el "Plan de reordenamiento de la oferta educativa" define la eliminación, el perfeccionamiento y/o implementación de nuevos establecimientos educativos y determina que los estudiantes reciban la oferta educativa únicamente en los establecimientos del circuito administrativo de planificación en el que residen (Ministerio de Educación, 2012). Por lo tanto, esta estrategia afecta de manera importante las relaciones espaciales entre la población y los servicios públicos. Se requiere entonces, un profundo análisis en términos espaciales de dicha afección.

Objetivos

El objetivo de esta investigación es demostrar la aplicación de las técnicas de análisis espacial para apoyar el diseño e implementación de estrategias de descentralización de equipamientos educativos. Este objetivo se compone de tres objetivos específicos.

1. Evaluar la localización geográfica actual de los establecimientos educativos según los modelos de eficiencia, equidad espacial y cobertura máxima.
2. Elaborar escenarios óptimos de localización de establecimientos educativos tomando en consideración los modelos mencionados y compararlos con el escenario actual.
3. Determinar los cambios en la justicia espacial y en la movilidad de la población usuaria de los servicios educativos a consecuencia de la implementación de los NPAs.

Trabajos relacionados

Los problemas de localización espacial han sido estudiados por las escuelas de pensamiento geográfico interesadas en la interacción entre los humanos y el medio físico. Bosque Sendra y Moreno Jiménez hacen un recuento de las investigaciones en este tema (Bosque Sendra & Moreno Jiménez, 1990): La teoría original de la localización fue desarrollada por científicos como A. Weber (1909), T. Palander, E. Hoover, A. Losch o W. Isard. A partir de los años 60, los geógrafos cuantitativos como Haggett, W. Bunge y R.L. Morrill inician la investigación de instrumentos basados en las teorías originales. A partir del desarrollo de los Sistemas de Información Geográfica – SIG, se inicia la aplicación operativa de muchos de los conceptos e instrumentos elaborados previamente. Los SIG disponen de un ambiente preparado para modelar la localización de actividades humanas, realizar cálculos y operaciones. Estas características convierten a los SIG en una herramienta importante en la planificación territorial de equipamientos colectivos (Bosque Sendra & Moreno Jiménez, 1990).

El abordaje de metodologías para la localización de instalaciones ha tenido sus aplicaciones en países de América Latina a través de las investigaciones realizados por Buzai, en los que los establecimientos analizados son: los centros de atención primaria de salud (Buzai & Baxeandale, 2006), escuelas de educación general básica (Buzai & Baxendale, 2008) de la ciudad de Lujan. También se han desarrollado trabajos relacionados con la instalación de equipamientos no deseables en España en los que se propone un procedimiento para la selección de lugares candidatos donde ubicar instalaciones de tratamiento de residuos (Sendra et al., 1999).

Otros autores demuestran cómo los principios de localización óptima pueden ser utilizados para apoyar la distribución de contenedores en huertos de manzanas y plantea un plan de distribución de cosechas, orientado a disminuir las distancias recorridas por los trabajadores

de temporada en la recolección de fruta y mejorar la gestión de los huertos (González-Araya, Urzúa, & Acosta, 2011).

Entre los artículos revisados no se ha podido encontrar publicaciones sobre experiencias de la aplicación de modelos de localización sobre el territorio ecuatoriano, siendo este trabajo un primer acercamiento a la aplicación de estos modelos, sobre los establecimientos educativos de la ciudad de Cuenca.

2. Metodología

Sitio y objeto de estudio

La ciudad de Cuenca se ubica al sur de la República del Ecuador con una superficie de 72 Km² y una población que se aproxima a los 331.000 habitantes al año 2010, geográficamente se desarrolla entre los 2° de latitud Sur y los 79° de longitud Oeste a una altura de 2550 m.s.n.m (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2011).

En el interior de la ciudad, el territorio se divide en dos distritos administrativos de planificación: el distrito 01D01 conformado por trece circuitos, y el distrito 01D02 conformado por nueve circuitos. En el presente trabajo se analiza el circuito 01D01C04 y el circuito 01D01C06 (Figura 3).

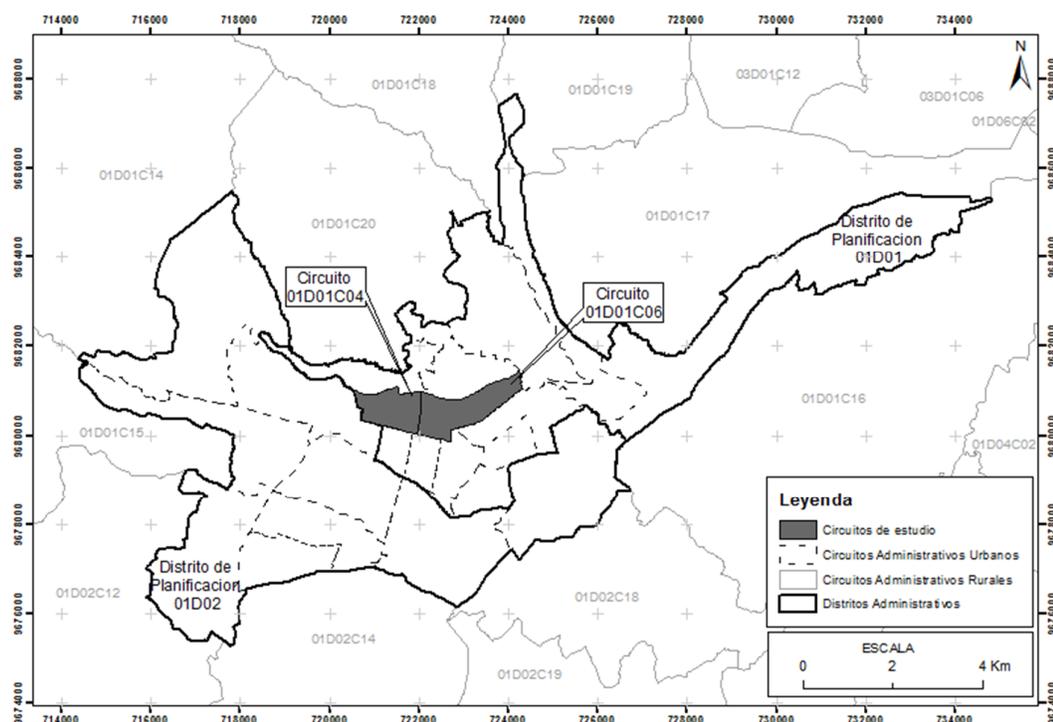


Figura 3 Distritos y Circuitos Administrativos de Planificación de la Ciudad de Cuenca

El circuito 01D01C04 está conformado por 22 sectores censales en el cual residen 1.121 personas entre 5 y 17 años de edad que asisten actualmente a establecimientos de educación pública (INEC, 2010). En el circuito existen actualmente tres centros de servicio educativo público: la Escuela Federico Proaño, la Escuela tres de noviembre, y la escuela Alberto Andrade Arizaga (Figura 4).

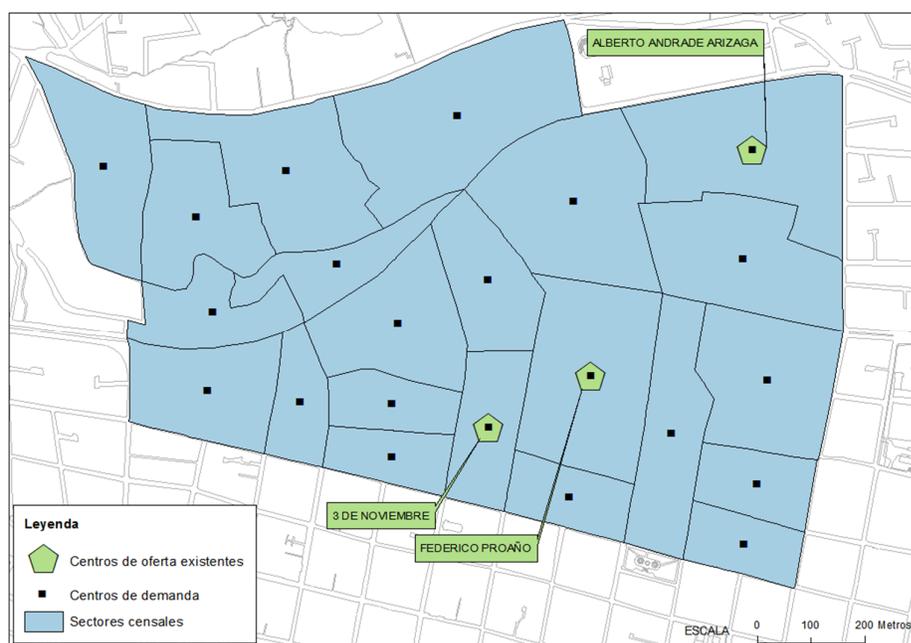


Figura 4 Distribución espacial de los centros de demanda y oferta existentes - 01D01C04

El circuito 01D01C06 está conformado por 49 sectores censales y al año 2010 residen 2.636 personas entre los 5 y 17 años de edad que asisten actualmente a establecimientos de enseñanza pública (INEC, 2010). En el circuito existen actualmente cinco establecimientos educativos: el Colegio Manuel J Calle, la Escuela España, la Escuela Mary Coryle, la Escuela Republica de Alemania y la Escuela República de Chile (Figura 5).

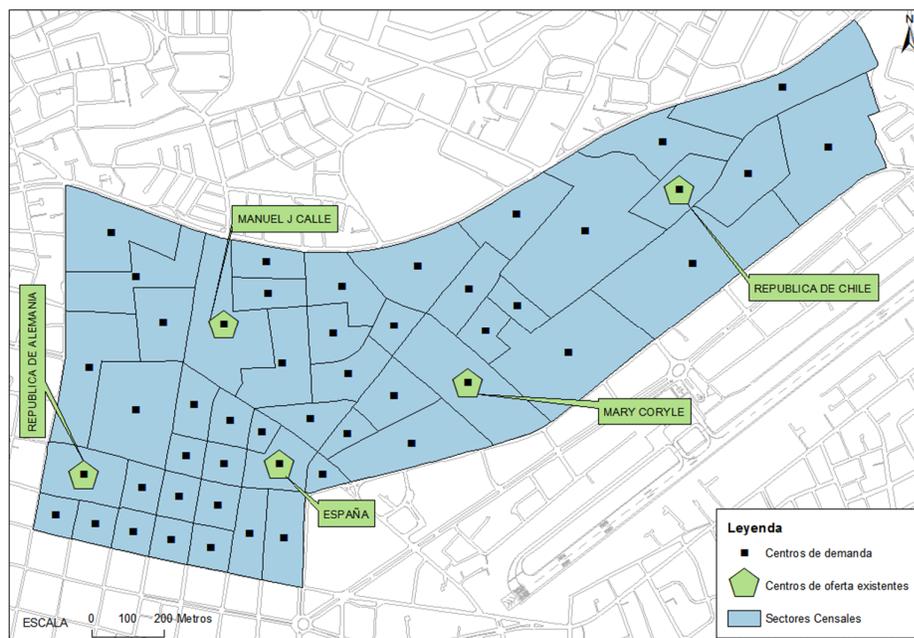


Figura 5 Distribución espacial de los centros de demanda y oferta existentes - 01D01C06

Herramientas informáticas.

Para la presente investigación fue necesario utilizar diferentes herramientas informáticas para distintas fases en el proceso y análisis de datos. Estas herramientas son:

Redatam SP

Es un sistema de software compuesto por un conjunto de módulos desarrollados por el Centro Latinoamericano y Caribeño de Demografía (CELADE) - División de Población de la CEPAL. El objetivo consiste en ofrecer herramientas efectivas para procesar datos censales. (Jaspers & Poulard, 2002). Esta herramienta informática permitió el procesamiento de la base de datos del Censo de Población y Vivienda del año 2010 del Ecuador. El procesamiento generó una matriz de datos, que permite cuantificar la población usuaria de los servicios educativos.

gvSIG

Es un sistema de información geográfica (SIG), una aplicación de escritorio diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar cualquier tipo de información geográfica referenciada con el fin de resolver la gestión de complejos problemas de planificación. La herramienta cuenta con una amplia gama de instrumentos de visualización de datos geográficos.

gvSIG es una herramienta fundamental en la modelización de la situación problema de la localización de equipamientos públicos. Con los archivos geográficos de tipo vectorial que se utilizan en el algoritmo de localización óptima, se elaboran los escenarios que expresan la distribución espacial de los resultados.

Sextante

La librería de análisis espacial SEXTANTE se define como un marco de procesamiento de datos espaciales, que ofrece capacidades avanzadas de análisis. La librería permite ejecutar un gran número de algoritmos de análisis espacial, desde la interfaz de gvSIG. (Anguix Alfaro, 2005). La librería permite acceder a la ejecución del algoritmo de localización óptima de elementos (Figura 6). El acceso a la librería SEXTANTE, se la realiza desde la interfaz de gvSIG.

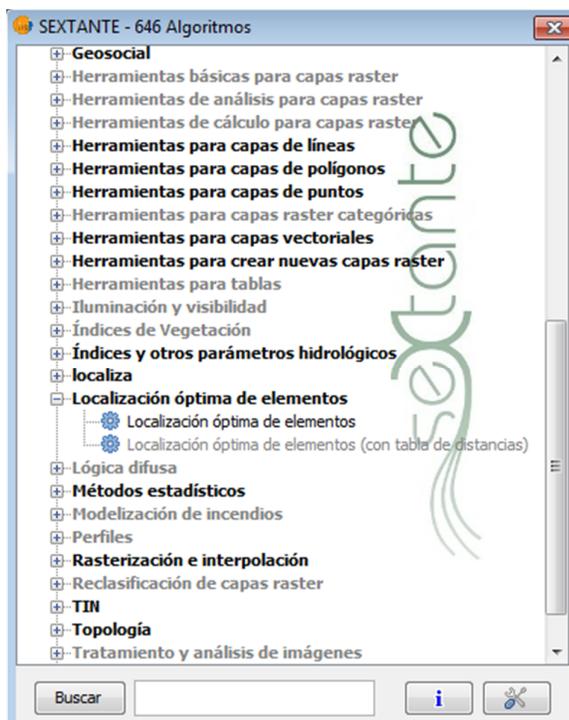


Figura 6 Listado de algoritmos SEXTANTE

Al iniciar el algoritmo se muestra una ventana de opciones dividida en tres secciones con sus respectivas elecciones de entrada (Figura 7).

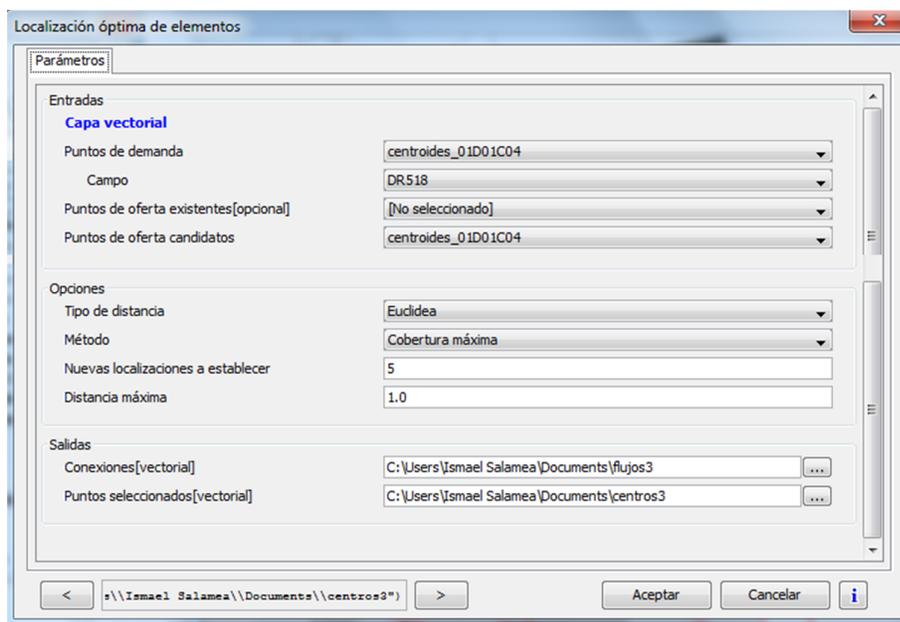


Figura 7 Ventana de opciones del algoritmo de localización óptima de elementos

Luego de configurar las opciones y ejecutar el algoritmo, la herramienta genera un reporte con los siguientes valores estadísticos: (1) distancia promedio, (2) distancia media, (3) distancia mínima, (4) distancia máxima, (5) suma total de distancias entre los centros de

oferta existentes y los centros de demanda. Un ejemplo de los resultados se muestra en la Figura 8.

- Función objetivo: 864,933
- Distancia media: 339,536
- Distancia cuadrática media: 42,282
- Distancia mínima: 0
- Distancia máxima: 864,933
- Varianza: 50698,588
- Suma total de distancias: 7469,797
- Coeficiente de variación: 149,317

Figura 8 Ejemplo de estadísticas básicas de resultado.

Además de los resultados estadísticos, el algoritmo genera dos archivos geográficos de tipo vectorial: Uno de tipo punto, que define las coordenadas de la localización óptima de los centros de oferta, y otro de tipo línea que representa la asignación espacial entre los centros de oferta y los centros de demanda, vinculado a una tabla con atributos que registran los valores de asignación (Tabla 1).

Atributos	Significado
Punto_de_demanda	El identificador de los centroides del archivo de centros de demanda.
X_demanda	Las coordenadas longitudinales del centro de demanda.
Y_demanda	Las coordenadas latitudinales del centro de demanda.
Punto_de_oferta	El identificador del centroides del archivo de centros de oferta
X_oferta	Las coordenadas longitudinales del centro de oferta.
Y_oferta	Las coordenadas latitudinales del centro de oferta.
Distancia	El valor de la distancia euclidiana entre la oferta y la demanda
Geom_Longitud	Valor de longitud de la geometría
Geom_Area	Valor de superficies de la geometría

Tabla 1 Atributos del archivo de resultados del algoritmo de localización óptima

Evaluación de la localización actual y potencial de los centros educativos

La evaluación de la localización se realizó en tres fases: (1) la determinación de la población que demanda los servicios educativos (2) La elaboración de una base de datos geográfica con los elementos que componen el modelo de localización y (3) la aplicación de los modelos de localización óptima en cada circuito.

Determinación de la demanda

El primer paso para generar la base de datos es componer una matriz de datos que contiene información demográfica respecto de la población usuaria de los servicios educativos, residente en los circuitos administrativos de planificación de estudio. La matriz de datos cuantifica la cantidad de demanda de cada sector censal. La demanda está definida por la cantidad de población entre 5 y 17 años que asisten actualmente a un establecimiento de educación pública. La cantidad de demanda se obtuvo con la herramienta informática Redatam SP, procesando la base de datos del Censo de Población y Vivienda del Ecuador, realizada el año 2010.

El procedimiento para componer la matriz de datos se obtuvo con la creación de archivos de selección, de los sectores censales que conforman los circuitos administrativos de planificación 01D01C04 y 01D01C06. Luego de generar la selección de sectores, se aplica una rutina de programación (Anexo 1) cuyo resultado es una matriz de datos con la población usuaria de los servicios educativos públicos a nivel de sector censal para cada circuito seleccionado (Anexo 2, Anexo 3).

Base de datos geográfica

El segundo paso es conformar la base de datos geográfica con los elementos necesarios para resolver el problema de localización. Todos los análisis se realizaron a nivel de sector censal, ya que es el nivel mínimo de desagregación territorial en el que está basada la información estadística disponible para la comunidad investigadora y planificadora. Los tres elementos geográficos necesarios para la aplicación del modelo son a) centros de demanda, b) centros de oferta existentes, y c) centros de oferta candidatos.

Los centros de demanda son generados a partir de los centroides de los sectores censales que conforman los circuitos administrativos de planificación. Los centros de demanda se vinculan a la matriz de datos de demanda generada en el paso anterior utilizando el código de identificación de los sectores censales. Los centros de oferta existentes se representan con los centroides de los sectores censales en donde se encuentran localizados actualmente establecimientos educativos públicos. Para crear este elemento se realizó un análisis de superposición entre la capa de sectores censales y la capa de localización de escuelas y colegios del Plan de Ordenamiento Territorial de la ciudad de Cuenca (Ilustre Municipalidad de Cuenca, 2011). Los centros de oferta candidatos están basados en los centroides de los sectores censales que conforman cada circuito administrativo.

Aplicación de modelos de localización óptima

El algoritmo de localización es aplicado a cada circuito administrativo de planificación seleccionado. Se determina la función objetivo de los modelos MINISUM, MINIMAX y COBEMAX utilizando los parámetros iniciales de configuración correspondientes. Los resultados de la aplicación del algoritmo consisten en valores estadísticos representados en una tabla de resultados, y archivos geográficos que se utilizan para la generación de mapas de la distribución espacial actual de los centros de demanda y la asignación a los centros de oferta existentes. El algoritmo se aplica tanto para evaluar la localización actual de los equipamientos como para determinar la posible localización óptima en un escenario de supuesta relocalización y se comparan los resultados.

Para evaluar la localización actual se utilizan solamente la ubicación de los centros de oferta existentes sin tomar en cuenta nuevas ubicaciones candidatas. Los parámetros específicos de configuración se detallan en el Anexo 4.

Para determinar la localización óptima potencial se calcula el número centros de oferta necesarios dividiendo la cantidad de demanda de todo el circuito administrativo con la capacidad normal de un establecimiento educativo. La capacidad normal de un establecimiento educativo es de 800 a 1200 alumnos (Unesco, 1987). Se determinó que en el circuito administrativo 01D01C04 se requieren dos centros educativos y en el circuito administrativo 01D01C06 tres centros educativos. La aplicación del algoritmo de localización óptima para la relocalización de centros de oferta, se realiza tomando en cuenta como centros candidatos todos los centroides de los sectores censales de cada circuito. Los parámetros de configuración se detallan en el Anexo 5.

Con los resultados de los valores estadísticos de cada modelo matemático, se conforma una tabla comparativa entre la evaluación de centros de oferta existentes y la relocalización de centros de oferta. La tabla comparativa permite comprobar cuál de los modelos nos ofrece los mejores resultados en cada circuito administrativo de planificación. También ayuda a estimar la modificación de los desplazamientos de la población si se realizara una relocalización de los centros de oferta.

Cambios en la movilidad de la población a causa de los circuitos administrativos de planificación.

El método para determinar los cambios de movilidad a causa de la implementación de los circuitos administrativos de planificación se basa en el análisis comparativo de los desplazamientos de la población hacia los centros de oferta utilizando dos escenarios: En el primer escenario (sin circuitos administrativos), la población es asignada al establecimiento educativo más cercano. En el segundo escenario (con circuitos administrativos), la población es asignada exclusivamente a los establecimientos educativos de su circuito de residencia. Este procedimiento se aplica a toda la zona urbana de la ciudad de Cuenca, compuesta por 796 sectores censales representando los centros de demanda y 61

establecimientos educativos públicos, tomando en consideración la jornada vespertina de asistencia de estudiantes.

Para el primer escenario (sin circuitos administrativos) se calcula las distancias entre los centros de demanda y centros de oferta hacia el establecimiento educativo más cercano. Para esto, se aplica el algoritmo de localización óptima configurado con los parámetros especificados en el Anexo 6, utilizando los sectores censales y centros educativos de toda la zona urbana de Cuenca. La capa de líneas resultante representa los desplazamientos necesarios y contiene en su tabla de atributos la demanda asignada, así como los valores de distancia entre oferta y demanda. Los valores de esta tabla se reclasifican para establecer la población que se encuentra en cada rango de distancia al centro educativo más cercano (Tabla 2).

<u>Rangos de desplazamiento (metros)</u>
Menores a 250
Entre 250 y 500
Entre 500 y 750
Entre 750 y 1000
Entre 1000 y 1250
Entre 1250 y 1500
Entre 1500 y 1750
Entre 1750 y 2000
Entre 2000 y 2250
Entre 2250 y 2500
Entre 2500 y 2750
Entre 2750 y 3000
Más de 3000

Tabla 2 Rangos de clasificación de distancia

Para el segundo escenario (con circuitos administrativos), se debe obtener las distancias entre centros de demanda y los centros de oferta considerando solo los equipamientos de su circuito administrativo de planificación. Se aplica el algoritmo de localización óptima para cada uno de los 22 circuitos administrativos de planificación (Anexo 7). Las 22 aplicaciones del algoritmo de localización óptima darán como resultados 22 archivos de tipo línea que contiene la distancia entre oferta y demanda, registrada en su tabla de atributos. Se genera un archivo único de distancias combinando los 22 archivos de tipo línea y se reclasifican los desplazamientos utilizando los mismos rangos del escenario anterior.

Los resultados de los dos escenarios son representados en tablas y gráficos comparativos que permiten evaluar los cambios en el acceso y movilidad de la población debido a la implementación de los circuitos administrativos como parte de la estrategia de descentralización.

3. Resultados.

Evaluación y relocalización de centros de oferta

Circuito C01D01C04

La distribución espacial de la demanda y su asignación a los centros de oferta existentes en el Circuito C01D01C04 se visualizan en la Figura 9. Los valores estadísticos obtenidos en la aplicación de los tres modelos de localización se detallan en la Tabla 3.

Modelo	Función objetivo	Distancia media (m)	Distancia máxima (m)	Suma de distancias (m)
MINISUM	$F = 452158,97$	339,53	864,93	7469,79
MINIMAX	$F = 864,93$	339,53	864,93	7469,79
COBEMAX	$F = 1035$	339,53	864,93	7469,79

Tabla 3 Estadísticas de evaluación de centros de oferta en el circuito 01D01C04

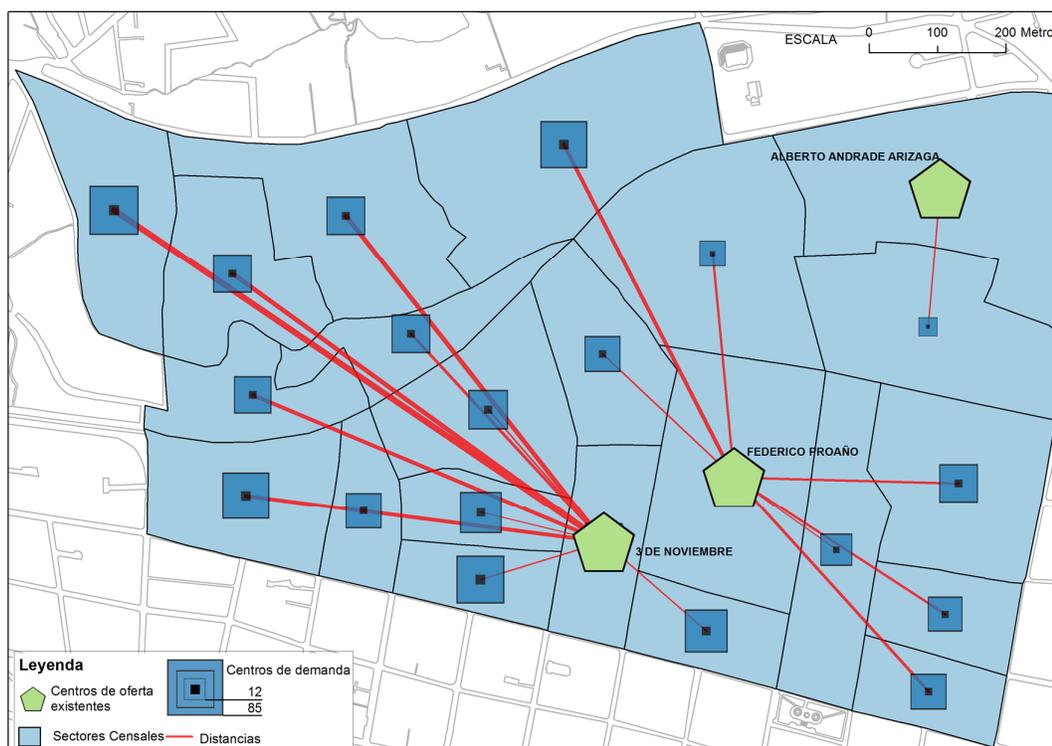


Figura 9 Evaluación de centros de oferta existentes - 01D01C04

La distribución espacial de la demanda y su asignación a los nuevos centros de oferta según el modelo MINISUM se visualiza en la Figura 10, según el modelo MINIMAX en la Figura 11, según el modelo COBEMAX en la Figura 12. Los resultados de la relocalización de centros de oferta según los tres modelos matemáticos se detallan en la Tabla 4.

Modelo	Función objetivo	Distancia media (m)	Distancia máxima (m)	Suma de distancias (m)
MINISUM	F =362585,88	292,70	519,83	6439,39
MINIMAX	F =595,41	298,21	519,09	6560,69
COBEMAX	F =1011	490,10	961,57	10782,29

Tabla 4 Estadísticas de relocalización de centros de oferta - 01D01C04

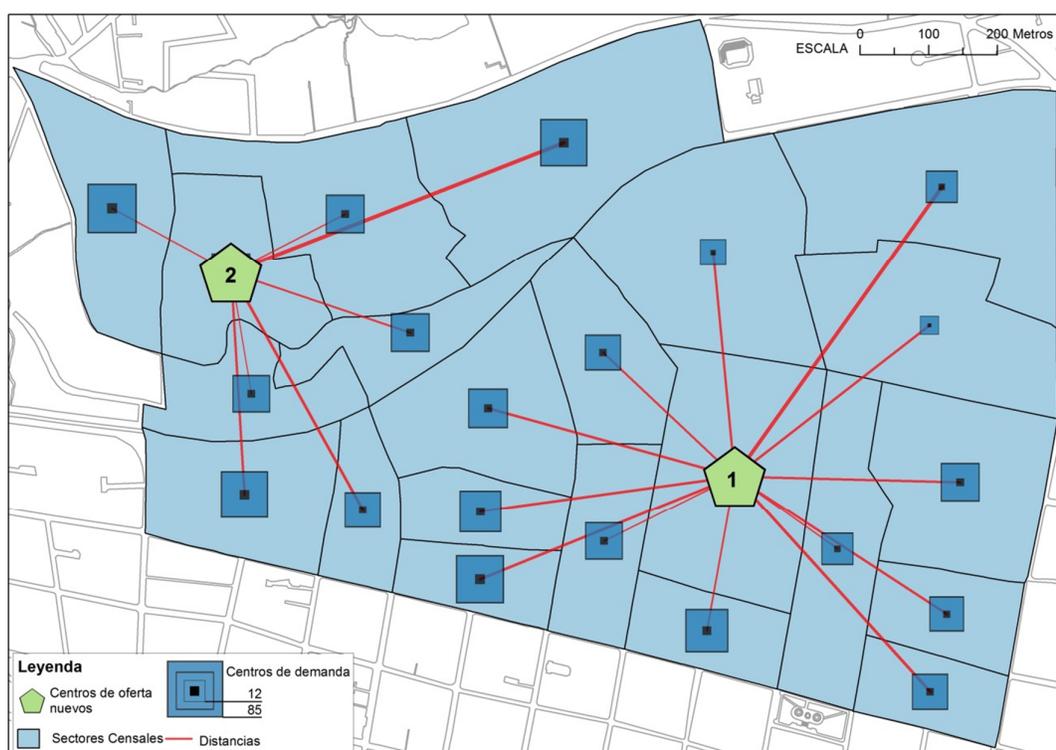


Figura 10 Relocalización de centros de oferta según modelo MINISUM – 01D01C04

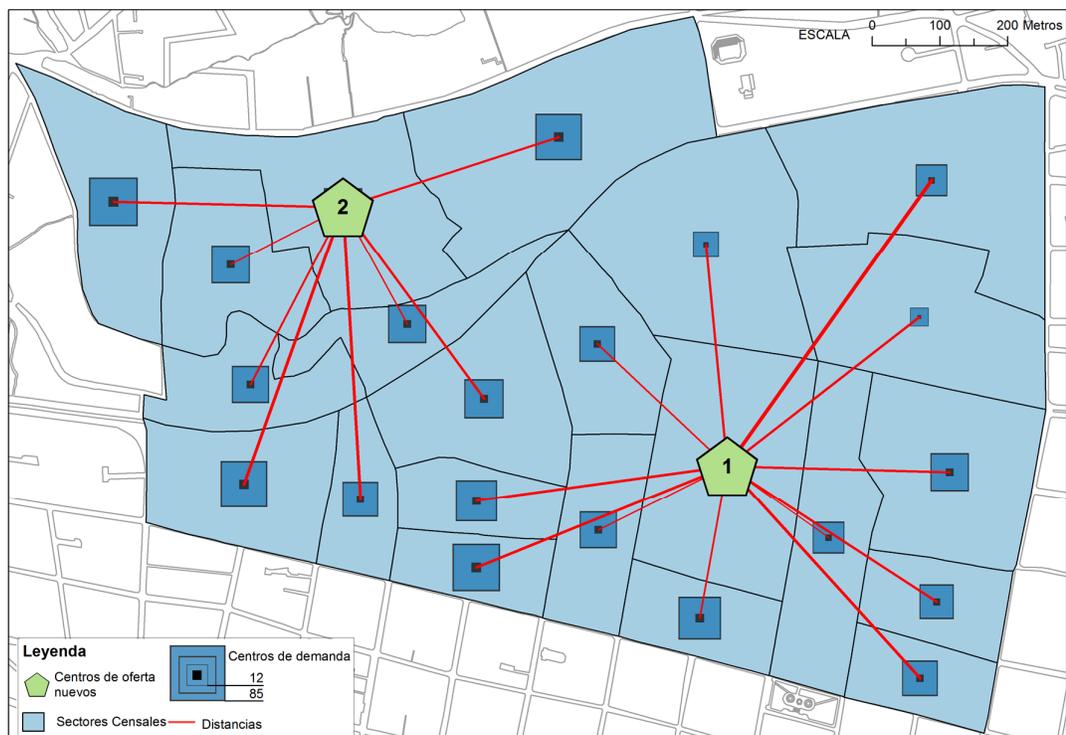


Figura 11 Relocalización de centros de oferta según modelo MINIMAX - 01D01C04

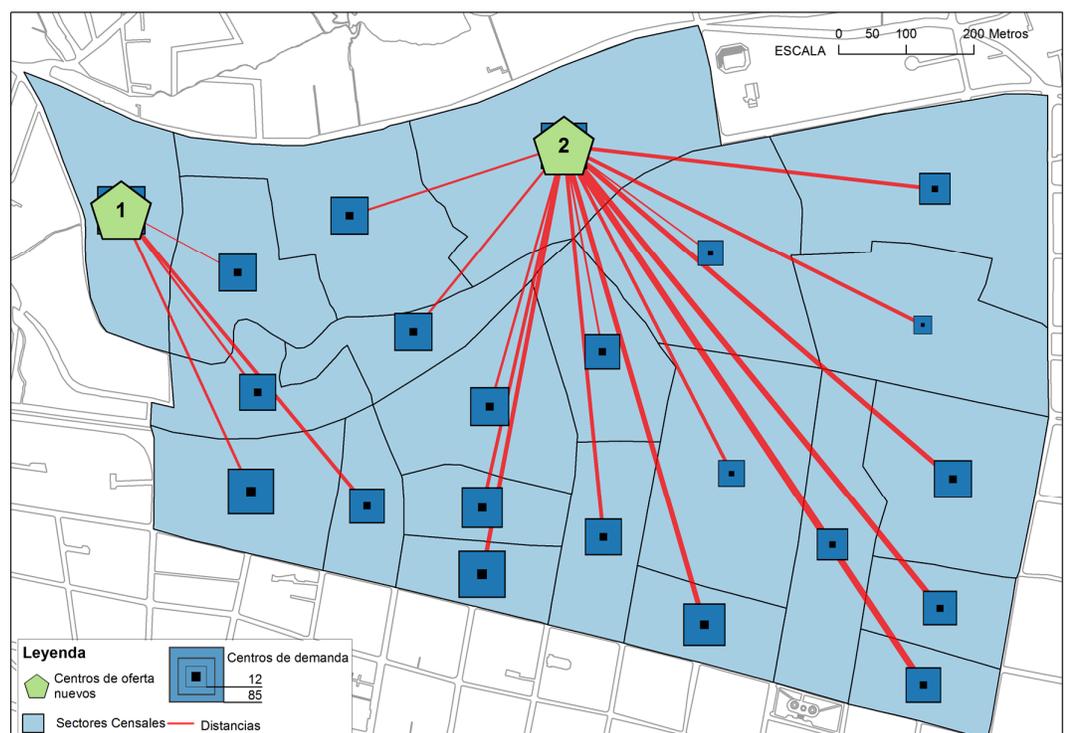


Figura 12 Relocalización de centros de oferta según modelo COBEMAX – 01D01C04

La reducción de tres a dos establecimientos educativos y su relocalización tomando en consideración el principio de eficiencia espacial, reduce el valor de función objetivo del

modelo MINISUM de 452158,97 a 362585,88, la distancia promedio de 339,53 m a 292,70 m, la distancia máxima pasaría de ser 864,93 m a 519,83 m y la suma de distancias entre la oferta y la demanda de todo el circuito administrativo de planificación se reduciría de 7469,79 m a 6439,39 m.

La relocalización de los establecimientos educativos tomando en consideración el principio de equidad espacial reduce el valor de la función objetivo del modelo MINIMAX de 864,93 a 595,41, la distancia promedio pasa de ser 339,53 m a 298,21 m, la distancia máxima pasa de ser 864,93 m a ser 519,09 m, la suma de distancias deja de ser 7469,79 m y llega a ser 6560,69 m.

La relocalización de los centros de oferta tomando en consideración el principio de cobertura máxima de la población, reduce la función objetivo del modelo COBEMAX de 1035 a 1011, mientras que la distancia promedio se incrementa de 339,53 a 490,10, la distancia máxima también se incrementa de 864,93 a 961,57, la suma total de distancias del circuito se incrementa de 7469,79 m a 10782,29 m.

En la Tabla 5 se muestra el resultado de comparación entre los resultados estadísticos obtenidos en la evaluación de centros de oferta existentes y la relocalización de centros de oferta.

Modelo Matemático	Diferencia entre localización actual y relocalización			Porcentaje de diferencia entre localización actual y relocalización		
	MINISUM	MINIMAX	COBEMAX	MINISUM	MINIMAX	COBEMAX
Función objetivo	89573,09	269,52	24	-19,81	-31,16	-2,32
Distancia media (m)	46,83	41,32	-150,57	-13,79	-12,17	44,35
Distancia máxima (m)	345,1	345,84	-96,64	-39,90	-39,98	11,17
Suma distancias (m)	1030,4	909,1	-3312,5	-13,79	-12,17	44,35

Tabla 5 Comparación entre resultados estadísticos – 01D01C04.

Circuito C01D01C06

La distribución espacial de la demanda y su asignación a los centros de oferta existentes en el Circuito C01D01C06 se muestran en la Figura 13. Los valores estadísticos obtenidos en la aplicación de los tres modelos de localización se detallan en la Tabla 6.

Modelo	Función objetivo	Distancia media (m)	Distancia máxima (m)	Suma de distancias (m)
MINISUM	F =728223,265	215,565	456,859	10562,671
MINIMAX	F =665,327	215,565	456,859	10562,671
COBEMAX	F =2475	215,565	456,859	10562,671

Tabla 6 Estadísticas de evaluación de centros de oferta existentes - 01D01C06

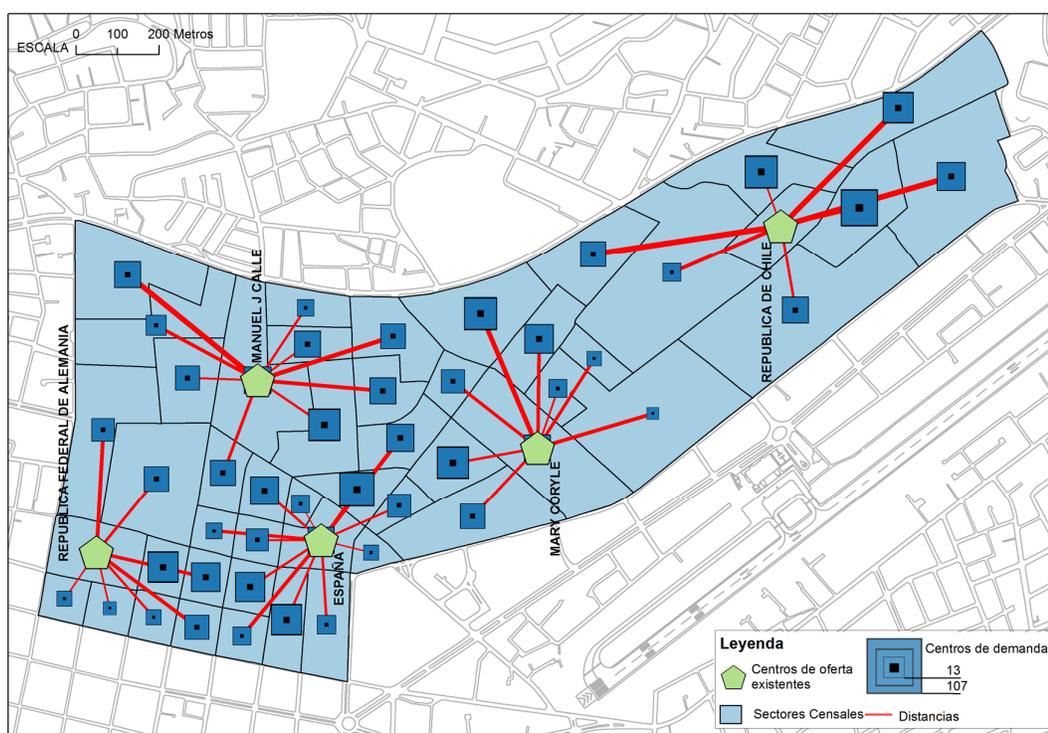


Figura 13 Evaluación de centros de oferta existentes - 01D01C06

La distribución espacial de la demanda y su asignación a los centros de oferta según el modelo MINISUM se visualiza en la Figura 14, según el modelo MINIMAX en la Figura 15, según el modelo COBEMAX en la Figura 16. Los resultados estadísticos de la relocalización de centros de oferta según los tres modelos matemáticos se detallan en la Tabla 7.

Modelo	Función objetivo	Distancia media (m)	Distancia máxima (m)	Suma de distancias (m)
MINISUM	F =883852,06	285,75	755,15	14001,75
MINIMAX	F =1619,41	324,41	640,25	15896,54
COBEMAX	F =2483	310,82	757,29	15230,16

Tabla 7 Estadísticas de relocalización de los centros de oferta existentes - 01D01C06

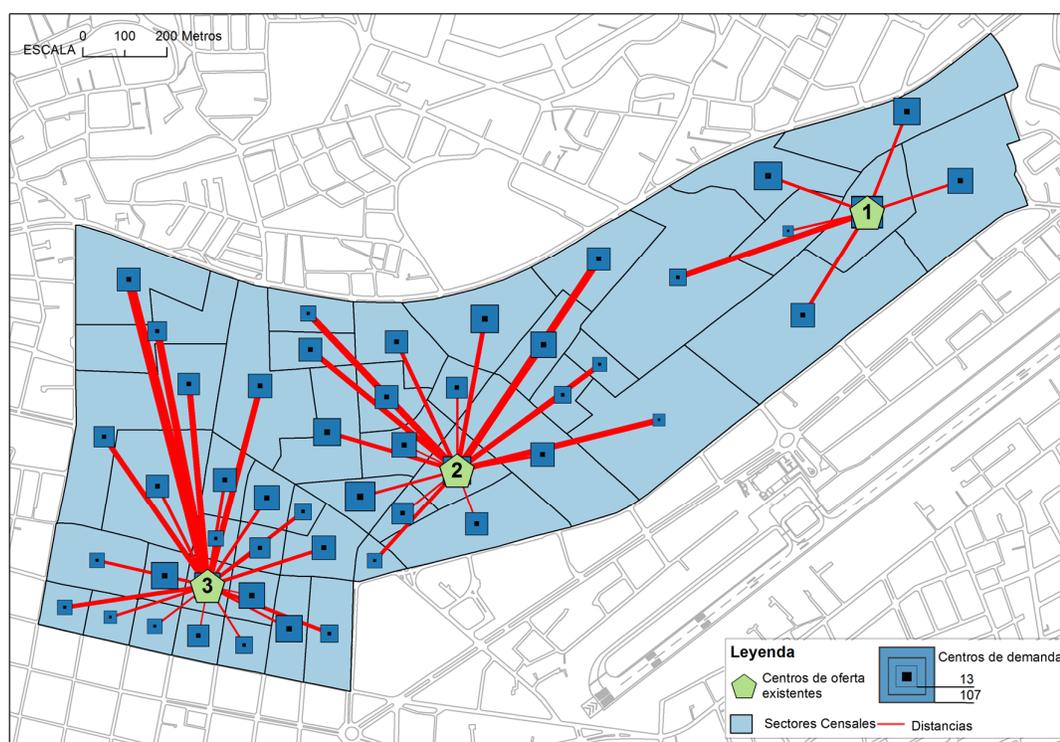


Figura 14 Relocalización de centros de oferta según modelo MINISUM – 01D01C06

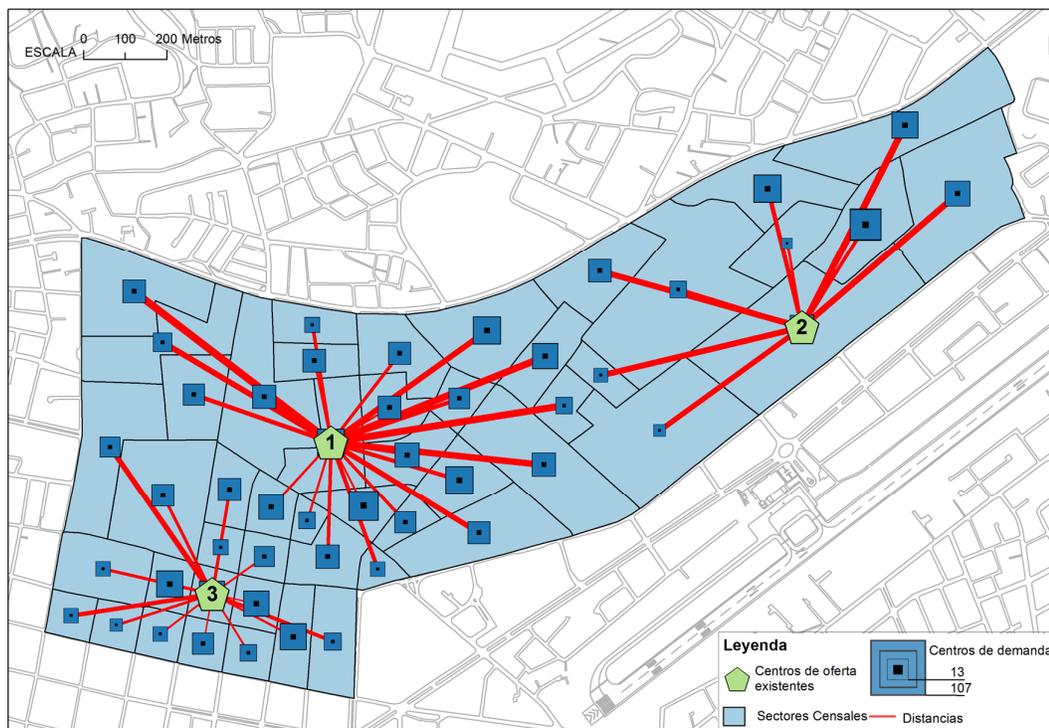


Figura 15 Relocalización de centros de oferta según modelo MINIMAX – 01D01C06

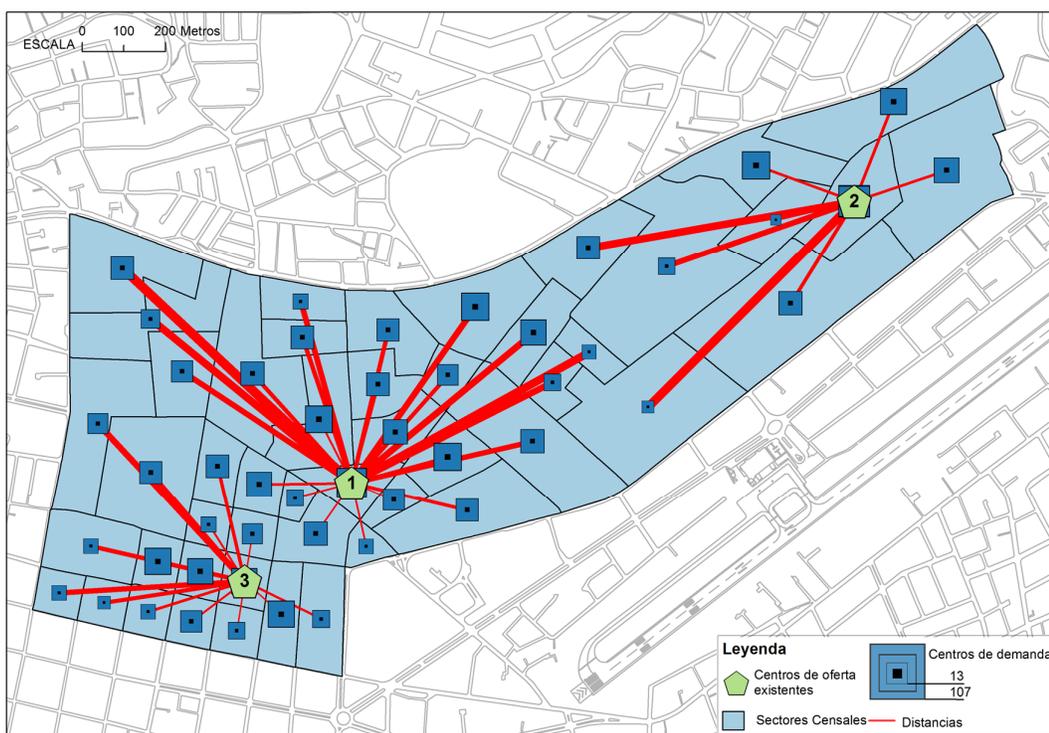


Figura 16 Relocalización de centros de oferta según modelo COBEMAX – 01D01C06

La reducción de cinco a tres establecimientos educativos y su relocalización tomando en consideración el principio de eficiencia espacial, aumenta el valor de función objetivo del modelo MINISUM de 728223,26 a 883852,06, la distancia promedio de 215,56 m a 285,75

m, la distancia máxima pasaría de ser 456,85 m a 755,15 m y la suma de distancias entre la oferta y la demanda de todo el circuito administrativo de planificación aumenta de 10562,671 m a 14001,75 m.

La reducción y relocalización de los establecimientos educativos tomando en consideración el principio de equidad espacial aumenta el valor de la función objetivo del modelo MINIMAX de 665,32 a 1619,41, la distancia promedio cambia de 215,56 m a 324,41 m, la distancia máxima pasa de ser 456,85 m a ser 640,25 m, la suma de distancias deja de ser 10562,67 m y llega a ser 15896,54 m.

La relocalización y reducción de los centros de oferta tomando en consideración el principio de cobertura máxima de la población, aumenta la función objetivo del modelo COBEMAX de 2475 a 2483, mientras que la distancia promedio se incrementa de 215,56 a 310,82, la distancia máxima también se incrementa de 456,85 a 757,29, la suma total de distancias del circuito se incrementa de 10562,67m a 15230,16 m.

En la Tabla 8 se muestra el resultado de comparación entre los resultados estadísticos obtenidos en la evaluación de centros de oferta existentes y la relocalización de centros de oferta.

Modelo Matemático	Diferencia entre localización actual y relocalización			Porcentaje de diferencia entre localización actual y relocalización		
	MINISUM	MINIMAX	COBEMAX	MINISUM	MINIMAX	COBEMAX
Función objetivo	155628,8	954,09	8	21,37	143,4	0,32
Distancia media (m)	70,19	108,85	95,26	33,56	50,5	44,19
Distancia máxima (m)	298,3	183,4	300,44	65,29	40,14	65,76
Suma distancias (m)	3439,08	5333,87	4667,49	32,56	50,5	44,19

Tabla 8 Comparación entre resultados estadísticos – 01D01C06.

Cambios en la movilidad de la población a causa de los circuitos administrativos de planificación.

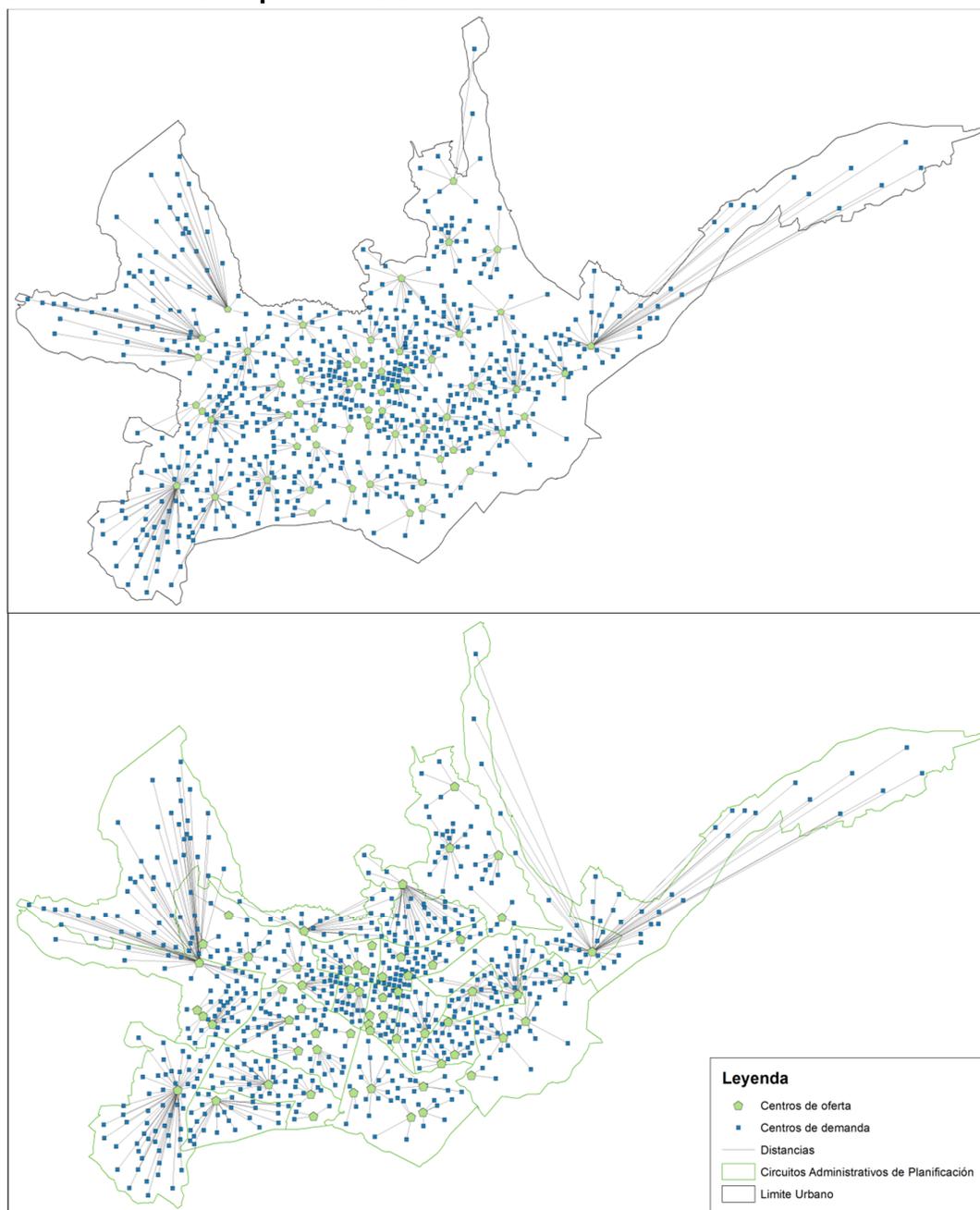


Figura 17: Asignación de la población a los centros educativos en la ciudad de Cuenca.

Arriba: Asignación directa por distancia.

Abajo: Asignación restringida a los circuitos administrativos de planificación

Los resultados de asignar la demanda a los centros de oferta sin considerar circuitos administrativos de planificación muestra que el 82,2 % de la población se encuentra a menos de 1000 metros de distancia de un centro de oferta, mientras que el 9,7% de la demanda se encuentra entre 1000 y 2000 metros de distancia; el 8% restante se encuentra

a más de 2000 metros. Al restringir la asignación a los circuitos administrativos de planificación, el porcentaje de la población que se encuentra a una distancia menor a los 1000 metros de un centro de oferta baja a 71%, mientras que el 18,8% estaría en un rango entre 1000 y 2000. Finalmente la población que está a más de 2000m sube a 10.2%.

La Tabla 9 y la Figura 18 muestran la magnitud de los cambios entre los dos escenarios. La población con acceso a un centro educativo a menos de 1000 disminuye en un 11.2%, mientras que aquella en el rango de 1000 a 2000 metros se incrementa en un 9% y la que está a más de 2000 aumenta en un 2.2%. La normativa de asignación por circuitos educativos tiende a disminuir la cantidad de población que se encuentra a menos de 1000 metros de distancia de un establecimiento educativo y aumenta la población que se encuentra a mayor distancia.

Rangos de distancia (m)	Sin considerar circuitos administrativos de planificación		Considerando circuitos administrativos de planificación		Diferencia (%)
	Población (%)	Acumulado (%)	Población (%)	Acumulado (%)	
< 250	7,5	7,5	7,4	7,4	-0,07
250 – 500	34,1	41,6	29,4	36,9	-4,64
500 – 750	28,2	69,9	22,7	59,6	-5,53
750 – 1000	12,3	82,2	11,3	71,0	-0,96
1000 – 1250	3,9	86,1	7,3	78,3	3,35
1250 – 1500	1,7	87,9	5,4	83,7	3,69
1500 – 1750	2,3	90,2	3,5	87,3	1,27
1750 – 2000	1,7	91,9	2,4	89,7	0,69
2000 – 2250	1,8	93,8	1,6	91,3	-0,27
2250 – 2500	1,5	95,3	2,3	93,7	0,84
2500 – 2750	0,8	96,1	0,4	94,1	-0,35
2750 – 3000	0,5	96,6	0,9	95,0	0,39
> 3000	3,32	100,00	4,92	100,00	1,59
Total	100		100		

Tabla 9 Rango de distancias de la demanda hacia los centros de oferta

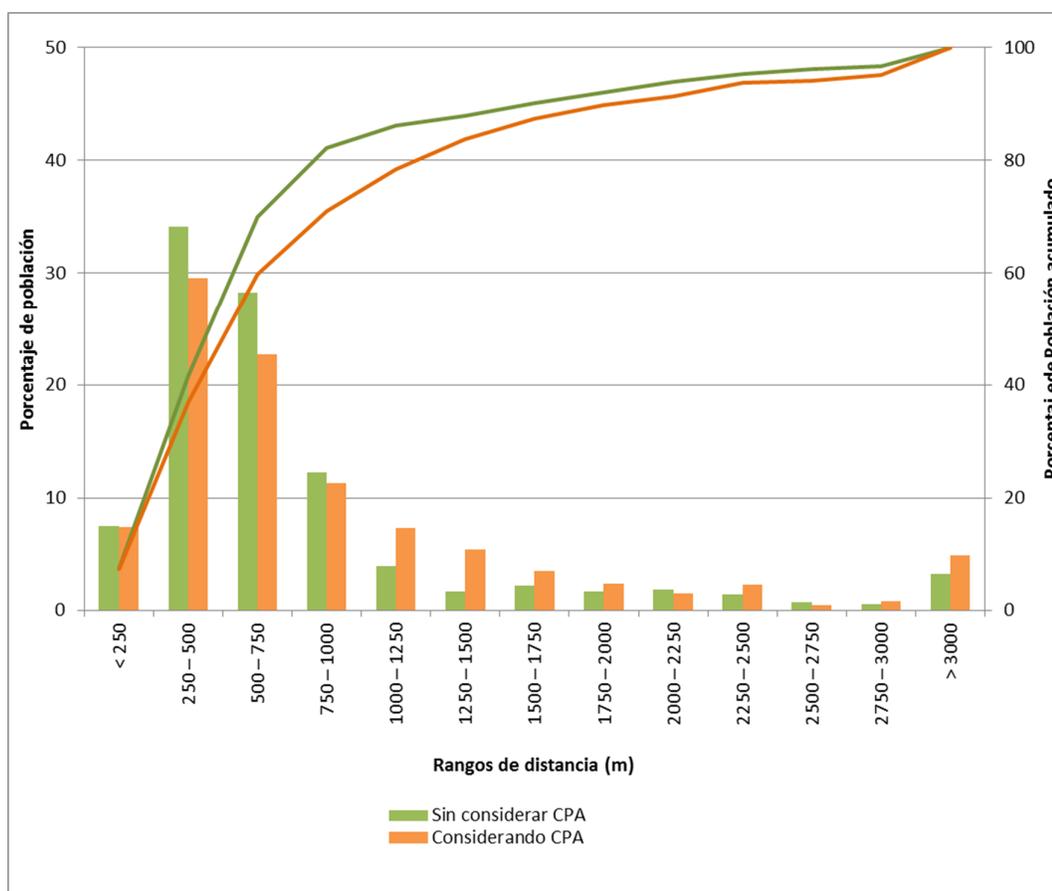


Figura 18 Porcentaje de población y la distancia hasta el establecimiento más cercano.

4. Discusión

En la evaluación de la localización de centros de oferta se determina que el modelo que más se acopla a la distribución equitativa de servicios sociales es el modelo MINIMAX. El modelo que tiende a disminuir la justicia espacial de la demanda es el modelo COBEMAX que favorece solamente a los centros de demanda más poblados causando el aumento de los desplazamientos entre oferta y demanda.

Los resultados de la evaluación de la localización actual y óptima de los establecimientos, indican que en el circuito 01D01C04 la escuela Federico Proaño cumple con los principios de eficiencia y equidad espacial ya que su ubicación actual corresponde con la ubicación óptima según los modelos MINIMAX y MINISUM. Además, se puede comprobar que la relocalización de establecimientos educativos permitiría la reducción a dos centros a la vez que se disminuyen los desplazamientos de la población.

En el caso del circuito 01D01C06 la distribución actual de establecimientos educativos no cumple con los principios de justicia espacial, pues la ubicación de estos no corresponde a ninguna ubicación óptima según los tres modelos. Al analizar la relocalización de los centros educativos, se determina que tres centros educativos serían suficientes para abarcar toda la

demanda del circuito administrativo tomando en cuenta su capacidad. Sin embargo, se puede comprobar que los desplazamientos de la población tienden a aumentar en los tres modelos y la población dentro del área de cobertura según el modelo COBEMAX disminuye. La implantación de cuatro centros podría permitir mejorar estos valores. El modelo MINIMAX determina el mejor resultado estadístico para la relocalización de centros de oferta educativo.

En definitiva, se puede determinar que en los circuitos analizados es posible optimizar los recursos al disminuir el número de centros educativos a la vez que se aumenta la justicia espacial en el área de estudio.

En cuanto al análisis de la implementación de la normativa de asignación de acuerdo a los circuitos administrativos en toda la ciudad, se puede observar que dicha normativa disminuye la eficiencia espacial, pues el porcentaje de población que se encuentra en un rango de distancia cercano a centros educativos disminuye y es desplazada hacia otro rango de distancia superior. Los rangos de mayor afectación son los de 250m-500m y 500m-750m. Esto provoca importantes cambios en los patrones de movilidad de la población, ya que los desplazamientos a distancias mayores de 500m requieren también otros medios de transporte.

Este efecto contraproducente de la implementación se debe probablemente a la conformación geométrica y geográfica de los circuitos administrativos, pues al estar creados a partir de la agregación de sectores censales, algunos de ellos constituyen entidades geográficas extensas que no necesariamente corresponden a la realidad geográfica y espacial de la ciudad.

5. Limitaciones y próximos pasos.

Aunque esta investigación implica un importante avance en la aplicación de técnicas de análisis espacial, presenta algunas limitaciones. En primer lugar, la implementación del algoritmo de localización óptima no toma en cuenta la capacidad de acogida de los establecimientos, por lo que se debe mejorar el algoritmo implementado en Sextante, para tomar en cuenta este aspecto. Por otro lado, aunque el uso de distancia euclidiana es la forma más directa de representar los desplazamientos de la población, ésta no representa los desplazamientos reales a través de la red vial de la ciudad; por lo tanto sería necesario modificar el algoritmo para utilizar en el modelo las distancias en red. Otro aspecto a considerar es que todo el análisis se ha realizado a nivel de sector censal, y que un nivel de mayor resolución como la manzana podría dar un resultado más exacto.

En el transcurso de la realización del trabajo se pudo investigar la existencia de herramientas informáticas dedicadas exclusivamente a la localización óptima de elementos como S-DISTANCE, FLOWMAP. Sin embargo, estas herramientas presentan importantes limitaciones en cuanto a interoperabilidad de archivos geográficos ya que manejan sus propios formatos, por lo tanto requieren una mayor manipulación de datos geográficos.

A partir de los resultados de este estudio se propone investigar diferentes formas para definir los circuitos administrativos de planificación, tomando en cuenta las divisiones socio espaciales reales y la localización geográfica óptima de los servicios públicos. Se ha previsto continuar con esta investigación aplicando los modelos de localización otro tipo de servicios sociales como centros de salud, notarias, centros para jubilados; además de estudiar la diferencia entre zonas urbanas y rurales de gran extensión y con número limitado de centros de oferta. Además se intentará incluir en la modelización la capacidad de los centros de oferta y los costes de desplazamiento por la red de transporte en términos adicionales a la distancia, tales como el tiempo, la energía o el costo monetario.

Bibliografía

- Alp, O., Erkut, E., & Drezner, Z. (2003). An efficient genetic algorithm for the p-median problem. *Annals of Operations research*, 122(1-4), 21–42.
- Anguix Alfaro, A. A. (2005). gvSIG: Software Libre, Infraestructuras de Datos Espaciales y tendencias del mercado. *Mapping*, (102), 86–87.
- Bosque, J., & Franco Maass, S. (1995). Modelos de localización-asignación y evaluación multicriterio para la localización de instalaciones no deseables.
- Bosque Sendra, J., & Moreno Jiménez, A. (1990). Facility location analysis and planning: a GIS approach. *EGIS'90 First european Conference on Geographical Information Systems*, 87–94.
- Bosque Sendra, J., & Moreno Jiménez, A. (2004). Sistemas de información geográfica y localización de instalaciones y equipamientos. *Madrid, Ra-Ma*.
- Buzai, G., & Baxeandale, C. (2006). Accesibilidad espacial a los centros de atención primaria de salud (CPAS) en la ciudad de Luján, Provincia de Buenos Aires, Argentina. *Universidad Nacional de Luján. Departamento de Ciencias Sociales*.
- Buzai, G., & Baxendale, C. (2008). Modelos de localización-asignación aplicados a servicios públicos urbanos: Análisis espacial de escuelas EGB en la ciudad de Luján. *Revista Universitaria de Geografía*.
- González-Araya, M., Urzúa, C., & Acosta, L. (2011). Análisis de modelos de localización para apoyar la distribución de bins en huertos de manzanas. *XLIII Simposio Brasileiro de PESQUISA OPERACIONAL*.
- Hernández Aja, A., Alguacil, J., Medina, M., & Moreno, C. (1997). La ciudad de los ciudadanos. *Ministerio de Fomento, Madrid*.
- INEC. (2010). VII Censo de Población y VI de Vivienda. Quito.
- Ilustre Municipalidad de Cuenca. (2011). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del canton Cuenca. Cuenca.
- Jaspers, D., & Poulard, S. (2002). El software Redatam para divulgación y análisis de datos censales. *Notas de Población*, 29(75), 321–341.
- Ministerio de Educación. (2012). Reordenamiento de la oferta educativa. Quito. Retrieved from http://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/03/Reordenamiento_de_la_oferta_educativa.pdf
- Pérez-Brito, D. (1998). *Arboles y herísticas en localización: El modelo Centdian múltiple*. Universidad de La Laguna.
- Registro Oficial N° 290 Reglamento de desconcentración administrativa, financiera y jurídica. , Pub. L. No. 290 (2012).
- SENPLADES. (2012). Proceso de desconcentración del Ejecutivo en los niveles administrativos de planificación. Quito.
- Sendra, J. B., Durán, A. E. R., Espinosa, V. R., Gayo, A. V., Muñoz, M. de los Á. D., & Delgado, M. G. (1999). Localización de centros de tratamiento de residuos: una

propuesta metodológica basada en un SIG. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* (Vol. 19, p. 295).

Unesco. (1987). Normas y estándares para las construcciones escolares. Retrieved from <http://unesdoc.unesco.org/images/0007/000701/070131so.pdf>

Weber, A. (1909). *Über den Standort der Industrien*.

Anexos**Anexo 1 Programación en REDATAM +SP**

```
RUNDEF programa1
  SELECTION "T:\Dropbox\TESIS\datos\POBLACION\01D01C04.sel"
  UNIVERSE PERSONA.ASISTE = 1 AND PERSONA.TIPOENS = 1

DEFINE SECTOR.DR518
  AS COUNT PERSONA
  FOR PERSONA.EDAD >= 5 AND PERSONA.EDAD <= 18
  TYPE INTEGER

TABLE TABLE207
  AS AREALIST
  OF SECTOR,
  SECTOR.DR518 DR518,

RUNDEF programa3
  SELECTION "T:\Dropbox\TESIS\datos\POBLACION\01D01C06.sel"
  UNIVERSE PERSONA.ASISTE = 1 AND PERSONA.TIPOENS = 1

DEFINE SECTOR.DR518
  AS COUNT PERSONA
  FOR PERSONA.EDAD >= 5 AND PERSONA.EDAD <= 18
  TYPE INTEGER

TABLE TABLE207
  AS AREALIST
  OF SECTOR,
  SECTOR.DR518 DR518,
```

Anexo 2 Tabla de demanda del circuito administrativo 01D01C04

Código del sector censal	Cantidad de población entre 5 y 17 años de edad que asisten actualmente a un establecimiento de educación pública
010150008001	85
010150008002	53
010150008003	52
010150008004	78
010150008005	52
010150008006	50
010150008007	77
010150008008	45
010150008009	54
010150008010	45
010150008011	50
010150008012	60
010150008013	80
010150030001	25
010150030002	36
010150030003	12
010150030004	53
010150030005	42
010150030006	46
010150030007	36
010150030008	26
010150030009	64

Anexo 3 Tabla de demanda del circuito administrativo 01D01C06

Código del sector censal	Cantidad de población entre 5 y 17 años de edad que asisten actualmente a un establecimiento de educación pública	Código del sector censal	Cantidad de población entre 5 y 17 años de edad que asisten actualmente a un establecimiento de educación pública
010150024001	62	010150028010	74
010150024002	107	010150028011	73
010150024003	69	010150028012	52
010150025001	79	010150028013	33
010150025002	87	010150029001	60
010150025003	13	010150029002	39
010150025004	31	010150029003	52
010150025005	22	010150029004	47
010150025006	31	010150029005	56
010150025007	16	010150029006	24
010150026001	87	010150029007	77
010150026002	57	010150029008	25
010150026003	72	010150029009	19
010150026004	50	010150029010	25
010150026005	62		
010150026006	84		
010150026007	51		
010150026008	56		
010150027001	63		
010150027002	28		
010150027003	55		
010150027004	60		
010150027005	83		
010150027006	60		
010150027007	66		
010150027008	98		
010150028001	57		
010150028002	27		
010150028003	46		
010150028004	70		
010150028005	32		
010150028006	61		
010150028007	25		
010150028008	34		
010150028009	79		

Anexo 4 Configuración del algoritmo para la evaluación de centros de oferta existentes.

Sección: Datos de entrada

[Puntos de demanda] con el archivo *[centroides_01D01C0x]*

[Campo] se selecciona el atributo de la tabla [DR518] que representa la demanda en el archivo *[centroides_01D01C0x.shp]*,

[Puntos de oferta existentes] se escoge el archivo *[existentes_01D01C0X.shp]*

[Puntos de Oferta Candidatos] no forma parte de la evaluación por lo que se mantiene en *[No seleccionado]*.

Sección: Opciones

[Tipo de distancia] se escoge *[Euclidea]*

[Método] se selecciona el modelo matemático, en el algoritmo están implementados varios métodos donde cada uno corresponde a un modelo, la correspondencia entre los modelos matemáticos considerados en el presente trabajo y los métodos del algoritmo utilizado se detallan en la Tabla 10.

Modelo matemático	Método
MINISUM	Suma mínima
MINIMAX	Minimizar máximo alejamiento
COBEMAX	Cobertura máxima

Tabla 10 Modelos implementados en el algoritmo de localización optima

[Nuevas instalaciones a establecer] se define la cantidad de instalaciones a ser evaluadas, se digita la misma cantidad que los *centros de oferta existentes*, al evaluar el circuito 01D01C04 se digita [3] y en el circuito 01D01C06 se coloca la cantidad de [5].

[Distancia Máxima] se mantiene el valor por omisión pues se consideran todos los centros de demanda existentes en el circuito sin restricción de alejamiento.

Sección: Datos de Salida

[Conexiones] en donde se define el nombre *[flujos.shp]* del archivo geográfico tipo línea que expresa las asignaciones espaciales entre los sitios de oferta y los sitios de demanda.

[Puntos Seleccionados] se determina el nombre del archivo geográfico de los centros de oferta evaluados *[centros.shp]*.

Anexo 5 Configuración del algoritmo para la relocalización de centros de oferta.

Sección: Datos de entrada

[Puntos de demanda] con el archivo *[centroides_01D01C0x]*

[Campo] se selecciona el atributo de la tabla [DR518] que representa la demanda en el archivo *[centroides_01D01C0x.shp]*,

[Puntos de oferta existentes] se asume que no existen puntos de oferta existentes y se mantiene en [No seleccionado]

[Puntos de Oferta Candidatos] se selecciona el archivo de puntos que pueden ser seleccionados como una nueva localización de instalaciones se elige el archivo *[centroides_01D01C0X]*.

Sección: Opciones

[Tipo de distancia] se escoge *[Euclídea]*

[Método] se selecciona el modelo matemático, en el algoritmo están implementados varios métodos donde cada uno corresponde a un modelo, la correspondencia entre los modelos matemáticos considerados en el presente trabajo y los métodos del algoritmo utilizado se detallan en la Tabla 10.

[Nuevas instalaciones a establecer] se define la cantidad de nuevas instalaciones que se buscan establecer, para el circuito 01D01C04 se digita la cantidad de [2] y para el circuito 01D01C06 se digita la cantidad de [3].

[Distancia Máxima] se mantiene el valor por omisión pues se consideran todos los centros de demanda existentes en el circuito sin restricción de alejamiento.

Sección: Datos de Salida

[Conexiones] en donde se define el nombre *[flujos.shp]* del archivo geográfico tipo línea que expresa las asignaciones espaciales entre los sitios de oferta y los sitios de demanda.

[Puntos Seleccionados] se determina el nombre del archivo geográfico de los centros de oferta evaluados *[centros.shp]*.

Anexo 6 Configuración del algoritmo para la estimación de distancias entre centros de demanda y centros de oferta.Datos de entrada

[Puntos de demanda] con el archivo *[centroides_cuenca.shp]*

[Campo] se selecciona el atributo [DR518] de la tabla asociada al archivo *[centroides_cuenca.shp]*.

[Puntos de oferta existentes] se escoge el archivo *[equipamiento_cuenca.shp]*

[Puntos de Oferta Candidatos] se mantiene en *[No seleccionado]*.

Opciones

[Tipo de distancia] se selecciona *[Euclídea]*

[Método] se opta por el opción *[Minimizar máxima alejamiento]* que corresponde al modelo matemático MINIMAX.

[Nuevas instalaciones a establecer] se define la cantidad de instalaciones a ser evaluadas, se digita la misma cantidad que los registros del archivo de los centros de oferta existentes [72].

[Distancia Máxima] no es utilizada pues se consideran todos los centros de demanda existentes en el circuito sin restricción de alejamiento.

Datos de Salida

[Conexiones] se define el nombre *[flujos.shp]* que corresponde al archivo geográfico de tipo línea que registra la distancia de cada centro de demanda con su oferta.

[Puntos Seleccionados] se define el nombre *[centros.shp]*.

En el archivo de tipo línea resultado de la aplicación del algoritmo se hace una reclasificación de los valores de distancia que tiene cada centro de demanda hacia el centro de oferta más cercano con el fin cuantificar a la población según el rango de distancia.

Anexo 7 Configuración del algoritmo para la estimación de distancias entre centros de demanda y centros de oferta de cada CAP.

Datos de entrada

[Puntos de demanda] con el archivo *[01D01C0x.shp]*

[Campo] se selecciona el atributo de la tabla asociada al archivo seleccionado en la opción puntos de demanda [DR518].

[Puntos de oferta existentes] se opta por el archivo *[equi_01D01C0x.shp]*

[Puntos de oferta candidatos] se mantiene en *[No seleccionado]*.

Opciones

[Tipo de distancia] se selecciona *[Euclidea]*

[Método] se opta por el opción *[Minimizar máxima alejamiento]*.

[Nuevas instalaciones a establecer] se digita la cantidad los registros del archivo de los centros de oferta existentes.

[Distancia Máxima] no es utilizada pues se consideran todos los centros de demanda existentes en el circuito sin restricción de alejamiento.

Datos de Salida

[Conexiones] se define el nombre del archivo geográfico tipo línea que registra la distancia de cada centro de demanda con su oferta.

[Puntos Seleccionados] se determina el nombre del archivo geográfico de los centros de oferta evaluados.