



**TECNOLÓGICO
DE MONTERREY®**

Campus Toluca

“Diseño y aplicación de un modelo de localización asignación para la evaluación del acceso a unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud para municipios rurales en el Estado de México”

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:
ING. RODOLFO MENDOZA GÓMEZ**

**DIRECTORA DE TESIS:
DRA. KARLA BEATRIZ VALENZUELA OCAÑA**

TOLUCA DE LERDO, MÉXICO, 4 DE MAYO DE 2012

“Diseño y aplicación de un modelo de localización asignación para la evaluación del acceso a unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud para municipios rurales en el Estado de México”

Por

Rodolfo Mendoza Gómez

Ingeniero Industrial, Instituto Politécnico Nacional (2008)

Enviado al Departamento de Ingeniería Industrial y al Posgrado en Ingeniería Industrial,
para cubrir los requerimientos para la obtención del grado de

**MAESTRO EN CIENCIAS CON ESPECIALIDAD EN
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

En el

Tecnológico de Monterrey Campus Toluca

Mayo 2012

Resumen

Frente a los problemas de acceso a los servicios de salud en México, el propósito de esta tesis es presentar una herramienta para la toma de decisiones para el mejoramiento del acceso a los servicios públicos de atención a la salud de primer nivel, siendo más significativos los problemas de cobertura en las zonas rurales del país. En este aspecto el Modelo Integrador de Atención a la Salud (MIDAS) de la Secretaría de Salud está enfocado en eliminar las barreras geográficas, organizacionales y culturales al acceso de los servicios de salud, mediante la articulación de redes de servicios de salud. En este trabajo, para mejorar la conformación de estas redes, se propone la utilización de dos modelos matemáticos. El primer modelo está enfocado en mejorar la asignación de la población a las diferentes unidades médicas existentes, y el segundo modelo realiza esta misma asignación con la opción de ampliar o localizar nuevas unidades cuando la capacidad de atención en los municipios sea insuficiente. Ambos modelos tiene como objetivos minimizar la distancia total recorrida por la población para recibir atención médica y distribuir de una forma más equitativa a la población de acuerdo a la capacidad de las unidades disponibles. Con información disponible se aplicaron los modelos en cinco municipios rurales del Estado de México, evaluando las unidades médicas de primer nivel de la Secretaría Salud. Los resultados se compararon con el Estudio de Regionalización Operativa (ERO) del Estado de México 2001 y el Plan Maestro en Infraestructura Física en Salud (PMIFS) del Estado de México 2010, encontrando una reducción significativa en la distancia recorrida por la población, una distribución más equitativa en las diferentes unidades médicas y la identificación de localidades candidatas para la apertura de nuevas unidades.

Abstract

To face the problems of access to health services in Mexico, the purpose of this work is to present a tool for making decisions regarding the problem of the population proportion with limited access to health services, being more significant in rural areas. Concerning this, the Integrator Model of Health Care of the Health in Mexico is aimed at removing geographical barriers, as well as improving organizational and cultural access to health services through the coordination of health care networks. In this work, in order to improve the formation of these networks, we propose the use of models for allocating the population to different public health facilities, and the enlargement or location of new ones when the capacity is insufficient. With information available to Mexico, the models were applied in five rural municipalities in Mexico State. The results were compared with Operational Regionalization Study of Mexico State in 2001 and the Physical Infrastructure Master Plan in Health for Mexico State in 2010, a significant reduction in distance traveled by the population, a better equitable distribution in the different health facilities and identification of candidate sites for opening new units were found, maximizing the coverage and improving the level of service.

Índice de Contenido

Resumen	IV
Abstract	V
Índice de Contenido	VI
Índice de Figuras	IX
Índice de Tablas	X
CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	11
1.1. Introducción	11
1.2. Preguntas de Investigación.....	13
1.3. Hipótesis.....	13
1.4. Objetivos	14
1.4.1. Objetivos específicos	14
1.5. Justificación	15
1.6. Metodología	17
1.7. Resultados esperados	20
1.8. Estructura de la tesis.....	20
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Sistema de Salud en México	22
2.1.1. Contexto demográfico y condiciones de salud.....	24
2.1.2. Situación actual en el contexto mundial.....	26
2.1.3. Situación actual en el contexto interno	27
2.1.3.1. Recursos de infraestructura	28
2.1.3.2. Recursos de humanos.....	28
2.1.3.3. Recursos financieros	29
2.1.3.4. Operación de servicios	30
2.1.4. Situación del Estado de México	30
2.1.5. Presupuesto Basado en Resultados	31
2.2. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2011 del Gobierno Federal	33
2.3. Modelo de Atención Primaria a la Salud	35

2.4.	Modelo Integrador de Atención a la Salud.....	38
2.4.1.	Relación con el MASPA	39
CAPÍTULO 3.	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	40
3.1.	Modelos de Localización - Asignación.....	41
3.1.1.	Modelos Básicos de Cobertura.....	42
3.1.2.	Modelos P-Mediana	44
3.2.	Programación por metas.....	46
3.3.	Modelos aplicados en el área de salud	48
3.4.	Aplicación en México	51
3.5.	Resumen de revisión de la literatura	53
CAPÍTULO 4.	MODELOS PROPUESTOS	55
4.1.	Diseño del modelo	56
4.2.	Supuestos	62
4.3.	Índices y Parámetros	63
4.4.	Variables	64
4.5.	Modelo A. Modelo de localización-asignación para evaluar la asignación de localidades a las unidades médicas existentes	65
4.6.	Modelo B. Modelo de localización-asignación para evaluar la asignación de localidades a las unidades médicas existentes con opción de ampliar o abrir nuevas unidades médicas para satisfacer toda la demanda	67
4.7.	Modelo Z. Modelo utilizado para obtener una distancia total inicial como referencia para los modelos A y B.....	69
CAPÍTULO 5.	APLICACIÓN DE LOS MODELOS Y RESULTADOS	70
5.1.	Selección de los Municipios.....	73
5.2.	Selección de software.....	73
5.3.	Complejidad computacional.....	74
5.4.	Aplicación y resultados obtenidos del modelo A.....	76
5.5.	Aplicación y resultados obtenidos del modelo B	83
CAPÍTULO 6.	CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO	90
6.1.	Conclusiones y recomendaciones	90
6.2.	Investigación futura.....	92
7.	REFERENCIAS.....	94

ANEXOS.....	98
ANEXO 1: PRINCIPALES INDICADORES DE SALUD EN MÉXICO	99
ANEXO 2: MODELOS PROPUESTOS.....	102
Modelo A	102
Modelo B.....	103
Modelo Z - Versión 1	104
Modelo Z - Versión 2.....	105
ANEXO 3: COMPARACIÓN DEL MODELO B CON INFRAESTRUCTURA FÍSICA EN SALUD AL 2011	106
ANEXO 4: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LOS MODELOS EN GAMS.....	109
Modelo A. Villa de Allende	109
Modelo B. Villa de Allende	110
Modelo Z - Versión 1. Villa de Allende.....	111
Modelo Z - Versión 2. Villa de Allende.....	112
ANEXO 5: RESULTADOS DE LOS MODELOS.....	114
Resultados obtenidos del Modelo A por municipio	115
Resultados obtenidos del Modelo B por municipio	121

Índice de Figuras

Figura 1 - Metodología	19
Figura 2 - Sistema de Salud en México	23
Figura 3 - Gasto en salud de los países miembros de la OCDE, 2007	27
Figura 4 - Unidades públicas de consulta externa por habitante.....	28
Figura 5 - Médicos generales por cada mil habitantes	29
Figura 6 - Gestión para Resultados, Presupuesto Basado en Resultados y Sistema de Evaluación del Desempeño.....	32
Figura 7 - Simulación de variables y restricciones	75
Figura 8 - Capacidad utilizada de los servicios de atención primaria a la salud en los municipios evaluados.....	77

Índice de Tablas

Tabla 1 Indicadores Básicos, México, 2008	24
Tabla 2 Indicadores en Salud del Estado de México 2009	31
Tabla 3 Objetivos y Estrategias del PND 2007-2011	33
Tabla 4 Revisión de la literatura	53
Tabla 5 Parámetros para los modelos.....	63
Tabla 6 Variables de los modelos	64
Tabla 7. Capacidad de Instalaciones	70
Tabla 8 Distancia máxima de cobertura.....	72
Tabla 9 Costo por abrir nuevas unidades médicas	72
Tabla 10 Media y desviación estándar de la capacidad utilizada.....	78
Tabla 11 Parámetros específicos del modelo A	78
Tabla 12 Capacidad de cobertura meta para el modelo A.....	79
Tabla 13 Pesos de los objetivos en el modelo A.....	79
Tabla 14 Distancia meta para el modelo A	79
Tabla 15 Comparación de la distancia total recorrida del ERO y el modelo A	81
Tabla 16 Capacidad promedio y desviación estándar para la población asignada en el modelo A ..	82
Tabla 17 Capacidad promedio y desviación estándar para la población total en el modelo A	83
Tabla 18 Parámetros específicos del modelo B	83
Tabla 19 Pesos de los objetivos en el modelo B	84
Tabla 20 Capacidad de cobertura meta para el modelo B.....	84
Tabla 21 Comparación de cambios de la infraestructura al 2011 y los resultados del modelo B	86
Tabla 22 Comparación de cobertura en km ² y por núcleo básico del ERO y el modelo B.....	87
Tabla 23 Comparación de la distancia total recorrida del ERO y el modelo B	87
Tabla 24 Capacidad promedio y desviación estándar para la población asignada en el modelo B ..	88
Tabla 25 Capacidad promedio y desviación estándar para la población total en el modelo B	89
Tabla 26 Principales indicadores de salud y del sistema por entidad federativa (2009).....	99
Tabla 27 Indicadores en cobertura en salud en municipios rurales del Estado de México (2009) .	101

CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES Y DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Introducción

México en su actual administración se encuentra en proceso de alcanzar la cobertura universal de salud. Este gran esfuerzo debe de ir en conjunto con el uso eficaz y eficiente de los recursos con los que cuenta el Sistema Mexicano de Salud (SMS). Por lo cual, una parte fundamental para lograrlo es a través de la planeación ordenada y sustentable del crecimiento y desarrollo de los recursos necesarios para brindar atención de calidad.

De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), los sistemas de salud tienen tres objetivos básicos: i) mejorar el estado de salud de la población; ii) ofrecer un trato adecuado a los usuarios de los servicios, y iii) garantizar protección financiera en materia de salud, que básicamente significa evitar que las familias incurran en gastos excesivos por atender sus necesidades de salud. (Secretaría de Salud, 2006)

En este sentido esta investigación propone la utilización de modelos matemáticos como un mecanismo de evaluación para la planeación estratégica en infraestructura pública para la atención a la salud. El objetivo de este estudio es optimizar la distribución de los recursos, asignando de una manera más equitativa las unidades médicas de la Secretaría de Salud a las diferentes localidades de cada municipio, tomando en cuenta la capacidad de atención y la cercanía de cada localidad. En la actualidad, cualquier persona tiene la libertad de acudir a cualquier unidad médica, pero bajo una asignación definida se podría mejorar el servicio al repartir de forma más equitativa la demanda en todas las unidades existentes.

Se realizó una revisión de la literatura sobre los principales modelos de localización-asignación y su aplicación en distintas áreas, principalmente el sector público y la atención médica, tomando como principal referencia los modelos de localización para el sector público propuestos por Marianov & Serra (2005), de los cuales se tomó como base el modelo de la *mediana-p* de Revelle & Swain (1970). Éste modelo pertenece a la clase de formulaciones llamadas modelos de localización *minisum*, se partió del modelo básico para el rediseño y adaptación a la problemática existente. El problema tiene como objetivo encontrar la localización de un número fijo de p instalaciones de tal modo que minimice la distancia promedio ponderada en el sistema. En la revisión de la literatura se encontraron diferentes aplicaciones de modelos de localización-asignación que fueron analizados y tomados como marco de referencia para la investigación: Alsalloum (2003), Buor (2003), Murawski & Churchb (2009), Ramírez (2002), Ramírez & Bosque Sendra (2001), Silva & Johnson (2006); Tanser, Hosegood, Blezer, & Solarsh (2001) y Tanser F. (2002) entre otros.

Para este estudio se propone la utilización de dos modelos de programación lineal entera mixta, utilizando programación por metas. El primero modelo evalúa la asignación de las localidades a las unidades médicas ya existentes, este modelo tiene como objetivos: a) minimizar la distancia total recorrida de la población de las diferentes localidades hacia las unidades médicas asignadas y b) la maximización de la capacidad total utilizada de todas las unidades médicas. Este modelo se aplicó en cinco municipios rurales del Estado de México, los resultados fueron comparados con el Estudio de Regionalización Operativo (ERO), este estudio es realizado por las dependencias estatales de Secretaría de Salud con el fin de determinar la demanda y el nivel de cobertura de acuerdo a la infraestructura existente. La aplicación se realizó con datos del 2002, debido a que fue la última actualización de dicho estudio. Los resultados arrojan una mejora significativa en la distancia total recorrida por toda la población, de igual forma se encontró una mejor distribución de la población en las diferentes unidades de acuerdo a su capacidad.

El segundo modelo evalúa la asignación de la población a las diferentes unidades médicas existentes y la localización o ampliación de nuevas unidades cuando la capacidad existente no sea suficiente, este modelo tiene los siguientes objetivos: a) minimizar la distancia total recorrida por la población, b) minimizar la apertura o ampliación de unidades médicas para cubrir toda la demanda con base a los costos de apertura; y por último c) maximizar la utilización de la capacidad de las instalaciones. Este modelo de igual forma se aplicó en los mismos cinco municipios con información del 2002, los resultados fueron comparados también con el ERO para identificar las mejoras del modelo en relación a la situación original. También se comparó con el PMIFS 2011 del Estado de México, para revisar las similitudes y diferencias entre la planeación de infraestructura realizada en los últimos años con respecto a la que se obtuvo del modelo.

De esta manera, está investigación esta encaminada hacia la realización de un esfuerzo para lograr el objetivo de disminuir los rezagos en infraestructura que hoy en día generan una desigualdad entre algunas regiones y sectores de la población. También tiene como fin despertar el interés de los investigadores mexicanos en la aplicación de la investigación de operaciones sobre el estudio y análisis del SMS, debido a que actualmente los estudios de aplicación en esta área son muy limitados en México.

La Secretaría de Salud cuenta con redes de servicio que sirven para lograr una interrelación entre todas las unidades médicas, tratando de ofrecer el mejor servicio posible, sin necesidad de aumentar la capacidad instalada y los recursos humanos existentes. Recientemente se ha implementado un nuevo modelo en salud en México, denominado MIDAS que tiene como finalidad crear las condiciones para que todas las unidades, instituciones y sectores del SMS trabajen, sin fusionarse, de manera coordinada para garantizar una atención pronta, efectiva, segura, continua, centrada en el paciente y respetuosa de los derechos humanos de los usuarios de los servicios de salud. Un reto importante para este nuevo modelo es crear una coordinación entre las diferentes

instituciones de salud, con el fin de que puedan brindar atención a la salud a toda la población sin duplicar esfuerzos. Los modelos matemáticos propuestos pueden ser una herramienta de decisión con un gran potencial para analizar esta coordinación, mediante la optimización del aprovechamiento de los recursos, por lo cual para trabajos futuros se recomienda su ampliación a las demás instituciones de salud en México, incluso de carácter privado. Para ello se requerirá de un gran esfuerzo en conjunto y de información más detallada y homologada entre todas las instituciones.

1.2. Preguntas de Investigación

- ¿Se puede obtener una mejor asignación de las localidades de los municipios rurales del Estado de México a las diferentes unidades médicas públicas de primer nivel de la Secretaría de Salud a través de la utilización de un modelo matemático, en comparación con la asignación establecida a través del ERO del Estado de México?
- ¿La utilización de un modelo matemático puede servir como base para mejorar la planeación en la infraestructura de unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud en municipios rurales del Estado de México, determinando la ubicación de nuevas unidades médicas de primer nivel, así como la ampliación de unidades ya existentes de la Secretaría de Salud?

1.3. Hipótesis

La asignación de las localidades de los municipios rurales del Estado de México a las diferentes unidades médicas públicas de primer nivel de la Secretaría de Salud se puede mejorar a través de la utilización de un modelo matemático, en comparación con la asignación actual establecida en el ERO del Estado de México, reduciendo la distancia total de traslado de la población de su localidad a las unidades médicas, y respetando una distribución equilibrada de la población de acuerdo a la capacidad de atención de cada instalación.

Para mejorar la planeación en la infraestructura de unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud en municipios rurales del Estado de México con respecto selección de localidades en donde se puedan colocar nuevas unidades médicas o la ampliación de unidades ya existentes, se puede tomar como referencia el uso de un modelo matemático que permita evaluar diferentes alternativas, tratando de minimizar la distancia total de traslado de la población desde sus localidades hacia las unidades médicas, encontrando los puntos donde se maximice la cobertura y respetando la capacidad de atención disponible.

1.4. Objetivos

- Diseñar un modelo matemático (Modelo A) para la asignación de la población de las localidades de municipios rurales a las unidades médicas de primer nivel existentes de la Secretaría de Salud, con una reducción de la distancia total recorrida por la población para recibir la atención médica en comparación con el ERO y respetando la distribución de la población de acuerdo a la capacidad de atención de cada instalación.
- Diseñar un modelo (Modelo B) para la ampliación y/o localización de nuevas unidades cuando la capacidad disponible sea insuficiente, que permita mejorar la planeación en la infraestructura de unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud en municipios rurales del Estado de México.

1.4.1. Objetivos específicos

- Evaluar los resultados obtenidos del Modelo A y el Modelo B, y compararlos con el Estudio de Regionalización Operativo del Estado de México.
- Comparar el Plan Maestro de Infraestructura del Estado de México con los resultados obtenidos en el Modelo B.

1.5. Justificación

La investigación genera conocimiento y el conocimiento bien aplicado mejora las condiciones de salud, en el área de investigación en políticas y servicios permite superar las deficiencias y avanzar en el mejor desempeño de los sistemas y procesos de los prestadores de servicio. (Fundación Mexicana para La Salud, 2006)

La Fundación Mexicana para la Salud (FUNSALUD) señala que pese a los avances en el combate a la pobreza, muchos grupos poblacionales persisten por debajo de la línea de la pobreza extrema y se encuentran todavía frente a riesgo de salud ante la falta de oportunidades y de servicios que requiere. Los indicadores nacionales esconden todavía grandes inequidades en el acceso a los servicios de salud y en su financiamiento, lo que redundando en marcadas diferencias en el nivel de salud entre estados, localidades y grupos poblacionales. (Fundación Mexicana para La Salud, 2006)

En Homedes & Ugalde (2009) se señala que aunque el acceso a la atención a la salud se ha incrementado, las reformas en México no han dado resultados significativos en la reducción de la inequidad en salud, o en incrementar la eficiencia, productividad, calidad a pesar de los altos costos de inversión. Pese a la reforma en 2003, donde se creó el Seguro Popular en Salud (SPS), se mejoró el acceso y los servicios para la población que vive en extrema pobreza, estos esfuerzos no han logrado a la fecha, alcanzar los resultados planeados. En este mismo artículo se menciona que uno de los principales factores que ha ocasionado este retraso es debido a la inequidad, en el 2007 se mostraba una gran diferencia entre los estados con respecto a la proporción de personas que contaban con el Seguro Popular. En algunos estados se han asegurado hasta más del 70% de familias pobres, mientras que en otros estados esta cifra representa menos del 30% de las familias.

En 2001 se creó el Seguro Popular, que ofrece una cobertura básica en servicios de salud para la población que no cuenta con ningún seguro y se encuentra desprotegida. Este seguro funciona mediante la transferencia de recursos de los estados más ricos hacia los que tienen menos recursos con el fin de disminuir las diferencias en la calidad de servicios de salud en todo el país. A pesar de este gran logro, este mecanismo no será capaz de resolver todos los problemas que enfrenta México con respecto a salud, para ello es necesario encontrar un financiamiento adicional y mejorar la eficiencia de la oferta en el sector de salud pública según la OCDE. Uno de los principales problemas existentes es la fragmentación del sistema de salud, debido a que se compone de un sector privado que es muy poco regulado y un sector público que está compuesto de varios organismos integrados verticalmente que ofrecen servicio a diferentes segmentos de la población. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2005)

En el estudio de la OCDE sobre los Sistemas de Salud, México se encuentra entre los países de la OCDE con el grado más bajo de cobertura formal de aseguramiento público de salud. De acuerdo con estimaciones oficiales en el 2005, alrededor de 51% de la población tenía cobertura de la seguridad social. En contraste, 95% de la población de otros países miembros cuenta con algún tipo de seguro de gastos médicos. Sólo 45% del gasto total en salud es público (en comparación con más de 70% para el promedio de la OCDE) y casi todo el gasto privado restante es gasto de bolsillo. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2005)

Por otro lado, el acceso de la población a los servicios de salud es muy desigual debido a se ha correlacionado inversamente con indicadores de necesidad, como la mortalidad infantil, o con indicadores de las zonas geográficas más necesitadas. Con respecto al acceso y cobertura, el problema que existe está relacionado en cuanto a que el costo sea accesible, se estimó que en el 2011 la cobertura del Seguro Popular alcanzó 49 millones de personas, sin embargo, la capacidad existente en algunos estados no es suficiente para brindar toda la atención requerida. La importancia de mejorar la eficacia del SMS radica también en la necesidad de atender retos urgentes principalmente sobre dos problemas crecientes en México: la obesidad y la diabetes. México es el país más obeso de la OCDE, solo por debajo de Estados Unidos. Entre el 2000 y 2006 la tasa de sobrepeso pasó del 62.1% al 69.9% y la obesidad del 23.7% al 30.4% de la población adulta. En la cuestión infantil, uno de cada tres niños es obeso o tiene sobrepeso, siendo México uno de los países con las tasas más altas de obesidad infantil a nivel mundial. Mientras tanto la diabetes, que está relacionada con la obesidad, está incrementándose rápidamente. Se estima que un 10.8% de la población mexicana entre 20 y 79 años de edad tiene diabetes, siendo este porcentaje uno de los más altos de la OCDE. La diabetes tipo 1, representa entre el 10 y el 15% de todos los casos registrados en los grupos de edad más jóvenes. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2005)

En la publicación de la Secretaría de Salud “*Modelo de recursos para la planeación de unidades médicas de la Secretaría de Salud*” se habla que para atender a las necesidades de salud de la población es necesario que los servicios de salud estén organizados considerando criterios técnicos y habilidades de personal, y en este sentido la planeación juega un papel medular en el proceso por el cual se decide cuáles servicios deben proveerse, en donde y como.

En general los retos que enfrenta el SMS en los siguientes años se pueden resumir en los siguientes seis puntos recomendados por Gómez, Sesma, Becerril, Knaul, Arreola, & Frenk (2011):

- Se requieren recursos públicos adicionales, que dependen de una reforma fiscal, para disminuir el gasto de bolsillo ocasionado por el costo de las enfermedades

emergentes y sobretodo intervenciones hospitalarias de alta complejidad que no están cubiertas en el Seguro Popular.

- Seguir mejorando la distribución de los recursos públicos entre poblaciones y estados, y garantizar un mayor compromiso presupuestal por parte de autoridades locales.
- Lograr un equilibrio entre las intervenciones adicionales en promoción de la salud y prevención de enfermedades por un lado, y por el otro los servicios curativos.
- Aumentar la orientación al cliente y la capacidad de respuesta del SMS, considerando las crecientes expectativas de pacientes y de prestadores de servicios.
- Fortalecer la oferta de servicios en las zonas más marginadas del país para ampliar el acceso regular a una atención integral de la salud en las poblaciones más pobres, particularmente las comunidades indígenas.
- En general, lo más importante es buscar alternativas para fortalecer la integración del SMS, para garantizar un paquete común de beneficios para todas las personas, reducir los altos costos originados por el sistema segmentado, todo esto con el fin de que se logre el ejercicio universal e igualitario del derecho a la protección de la salud.

Frente a todos estos problemas y retos que enfrenta el SMS, la propuesta de utilización de modelos matemáticos como herramientas de decisión en la planeación estratégica, surge con la finalidad de reducir la inequidad, ofrecer una mejor calidad en el servicio y brindar una mejor eficiencia en la oferta de los servicios de salud públicos.

1.6. Metodología

Se utilizará una metodología de investigación de tecnológica y desarrollo, la cual está basada en la aplicación de un conjunto de técnicas, conocimientos y procesos, generados por la ciencia. Su resultado es la producción de satisfactores para la sociedad, la transformación de la realidad y la innovación en la industria, el comercio, las áreas ingenieriles, las tecnologías de la información, los equipos, programas y sistemas. En resumen, la investigación tecnológica pretende generar soluciones en beneficio de una comunidad específica, así como la comodidad y el bienestar de la población en general (Muñoz, 2011).

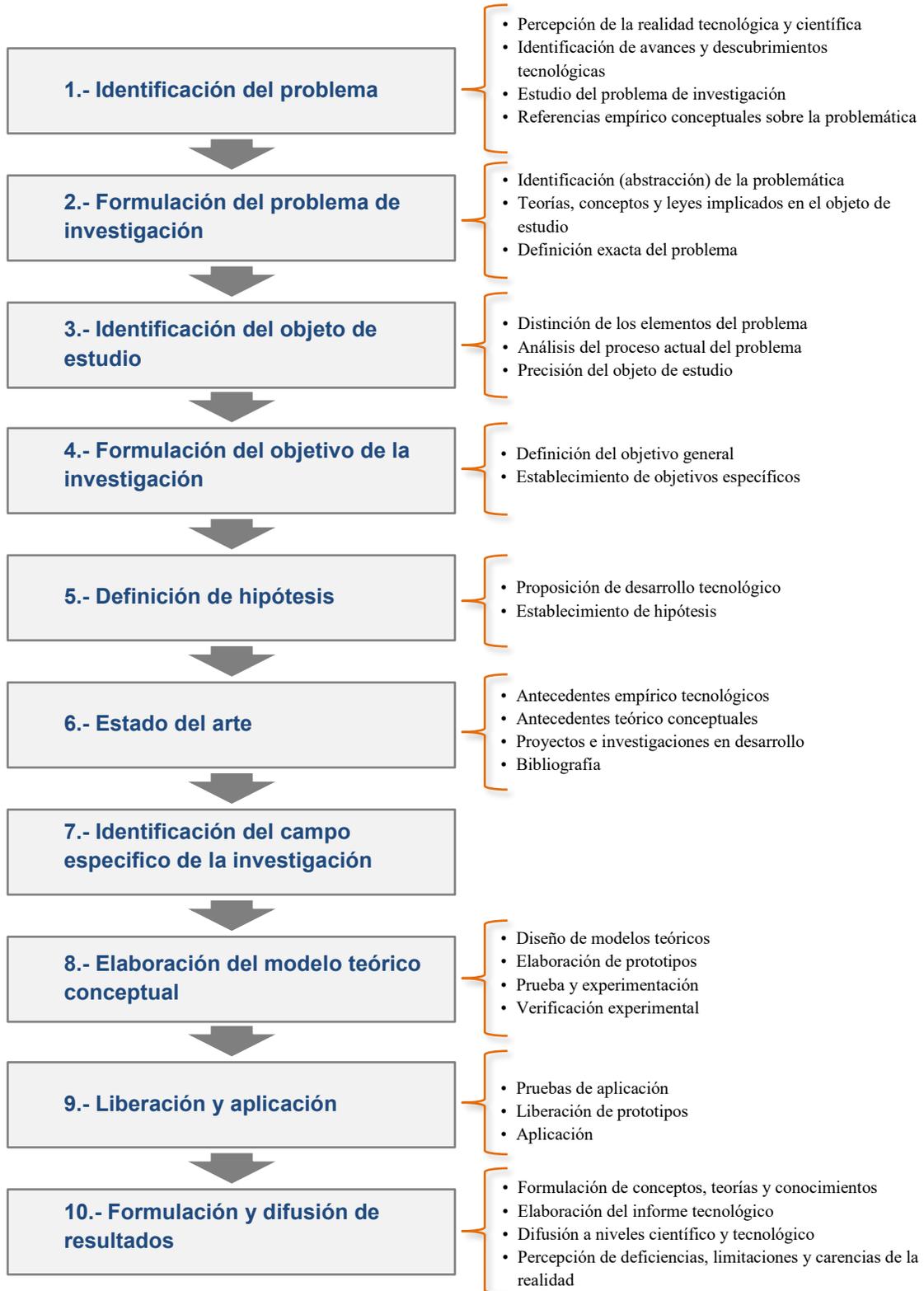
La investigación tecnológica posee características específicas, entre ellas se encuentran las siguientes:

- La finalidad de esta investigación es obtener conocimiento útil para resolver un problema concreto de las necesidades de la sociedad.

- Busca soluciones para casos prácticos que se ven influidos por contextos sociales, económicos, políticos, culturales y geográficos.
- Es factible desde el punto de vista tecnológico, si se dispone de los conocimientos y las habilidades necesarios de diseño, operacionalidad y materialización.
- El diseño inicial no único ni definitivo, pues no hay una sola solución correcta para un problema, ya que siempre es posible mejorar un diseño y modificarlo constantemente.
- Los métodos e instrumentos propios de las disciplinas técnicas e ingenieriles y áreas afines que se utilizan están en constante evolución y se renuevan para adaptarse a los conocimientos científicos en los que se apoyan.
- Al alcanzarse la mejora de un instrumento, artefacto, avance técnico o de diseño de una innovación, de inmediato surge una nueva invención o una nueva necesidad que demande cambios en estos, en sus componentes o incluso en todo el sistema. (Muñoz, 2011)

En el siguiente diagrama (Figura 1) se describe la metodología que se utilizará para llevar a cabo esta investigación:

Figura 1 - Metodología



Como base para el diseño de la metodología se tomaron los siguientes cuatro pasos, que la Secretaría de Salud utiliza para la planeación de su infraestructura:

- a) Evaluar la situación para definir e identificar los recursos con los que se cuenta;
- b) Analizar las posibles soluciones, incluyendo el pronóstico de las condiciones en las que se aplicarían y los efectos que tendrán en la población;
- c) Establecer un plan de acción dirigido a metas concretas, basada en las necesidades identificadas, utilizando estándares y obteniendo los costos estimados y calendario de implementación;
- d) Implementar las soluciones. (Secretaría de Salud, 2011)

1.7. Resultados esperados

Con la aplicación del modelo matemático se espera:

- Mejorar significativamente la distancia total de traslado de la población de las diferentes localidades en cada municipio evaluado y las unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud, en comparación con la distancia total de traslado del ERO.
- Encontrar una distribución más equilibrada de la población demandante para cada unidad médica de acuerdo a la capacidad de atención disponible, en comparación a la distribución del ERO.
- Aumentar la capacidad de atención de consulta externa y reducción de la distancia total de traslado con la aplicación y ubicación de nuevas unidades médicas en los municipios evaluados para obtener la cobertura total.

1.8. Estructura de la tesis

A continuación se muestra de forma resumida el contenido de cada capítulo de la tesis:

Capítulo 1. En este capítulo se muestran los antecedentes y descripción del problema de investigación, se da una introducción sobre las problemáticas en el sistema de salud en México, se plantea el problema de investigación y la hipótesis, se determinan los objetivos trazados en la investigación, se realiza una justificación sobre la relevancia del tema de estudio, se muestra la metodología que se utilizará durante la investigación y por último se describen los resultados esperados con la utilización de los modelos.

Capítulo 2. En este capítulo se describe el marco teórico de la investigación, se describe como está conformado el sistema de salud en México, cual es la situación actual en cuanto

a problemas de salud y acceso a la atención médica, se describen las líneas de acción de la administración federal en la presente administración. También se revisan los modelos de atención primaria a la salud de la Secretaría de Salud que serán la base para la construcción de los modelos.

Capítulo 3. En este capítulo se muestra la revisión de la literatura, se describen los principales modelos de optimización existentes para la localización-asignación de instalaciones, se mencionan algunas aplicaciones en el sector salud a nivel mundial y los resultados más importantes, también se muestran investigaciones que se han aplicado en México.

Capítulo 4. En este capítulo se realiza una descripción detallada de los modelos que se utilizarán para la investigación, primero se describe como se diseñaron de acuerdo a la problemática existente, posteriormente se describen los supuestos, los parámetros, las variables y las restricciones empleadas para cada uno de los modelos.

Capítulo 5. Una vez diseñado los modelos, en este capítulo, se muestra la aplicación realizada en cinco municipios del Estado de México, se muestra como se obtuvo la información de los parámetros y los supuestos realizados. También se presentan los resultados resumidos para cada uno de los modelos, comparando las mejoras con respecto a la situación a evaluar.

Capítulo 6. Por ultimo, se describen en este capítulo las conclusiones encontradas sobre la aplicación de los modelos, así como los trabajos futuros que se recomiendan a los investigadores interesados en el tema.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se muestra una revisión del Sistema de Salud en México, con la finalidad de conocer su estructura, las condiciones en las que opera y las problemáticas que enfrenta actualmente en cuanto a las condiciones de salud en México, el acceso y la equidad en la atención del servicio. Para poder plantear una propuesta innovadora y que genere un valor agregado es necesario conocer los esfuerzos que ha realizado y que tiene planeado realizar el Gobierno Federal y la propia Secretaria de Salud para atacar estos problemas. Por ultimo se mostrarán de forma resumida los modelos MASP y MIDAS de la Secretaria de Salud, a fin de determinar el alcance de la investigación.

2.1. Sistema de Salud en México

Las condiciones de salud de la población mexicana han mejorado a lo largo de las últimas décadas, a través del mejoramiento del sistema de salud por parte de las autoridades. A pesar de ello, la política de salud en México enfrenta aun muchos retos para garantizar el acceso universal al aseguramiento de la salud y mejorar la eficiencia del sistema.

El sistema actual de salud en México surgió a principios del siglo XX, aunque se han llevado a cabo cambios sustanciales en su estructura a lo largo del tiempo. El Sistema Nacional de Salud combina varios esquemas públicos integrados con un extenso mercado privado. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2005)

El SMS, como se muestra en la Figura 2, está constituido por tres rubros principales: las instituciones que ofrecen protección social en salud (IMSS, ISSSTE, PEMEX, SEDENA, MARINA y SPS), las instituciones que atienden a la población no asegurada (Secretaria de Salud, SESA, IMSS-Oportunidades) y el sector privado.

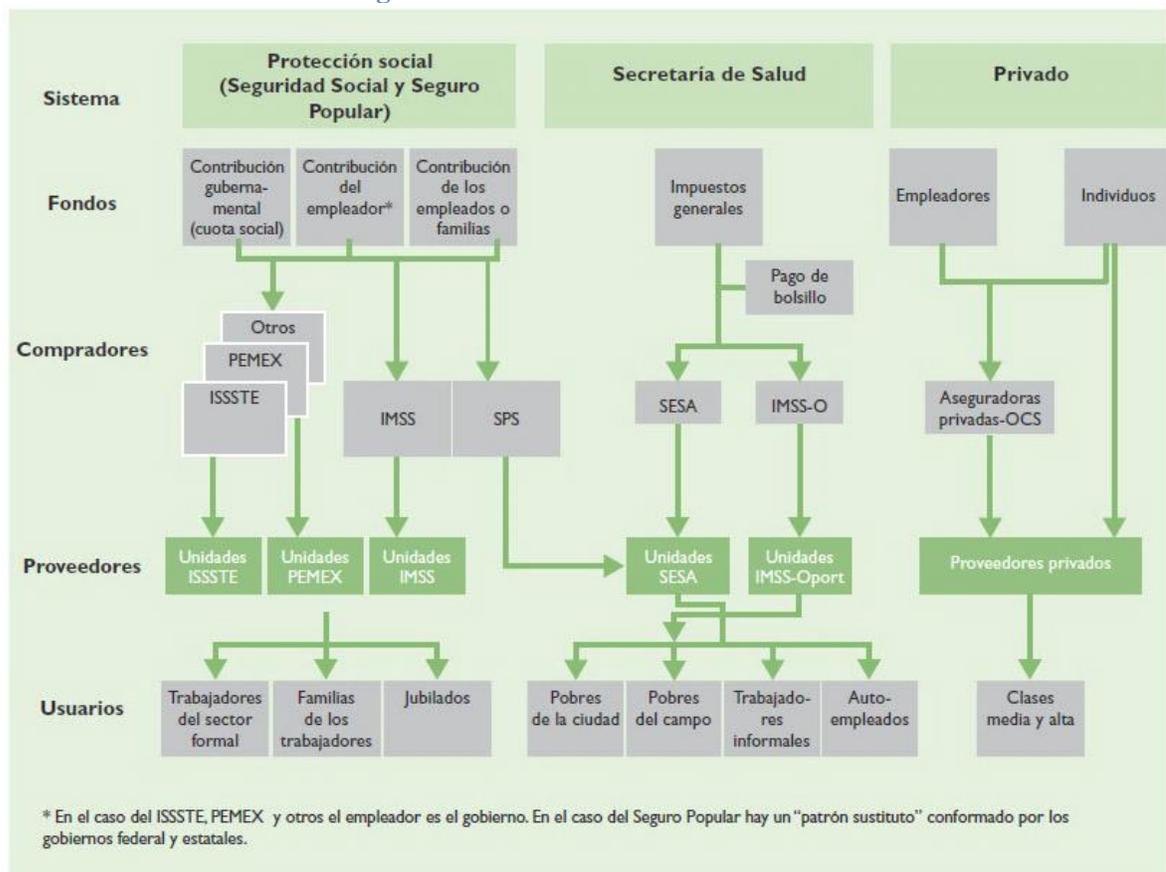
Por un lado las instituciones que ofrecen protección social reciben sus fondos de la contribución del empleador, de los empleados y del gobierno federal. A excepción de los afiliados al Seguro Popular, la población afiliada a un seguro social recibe atención médica en instituciones propias, por ejemplo, el ISSSTE brinda atención a los trabajadores del estado, mientras que PEMEX tiene sus propias instituciones de salud encargada de dar servicio a sus trabajadores. Una gran ventaja de contar con esta protección social es que este seguro se extiende para los familiares directos y aplica para jubilados.

Por otra parte la Secretaria de Salud recibe sus fondos de la contribución del gobierno federal y de los gobiernos estatales, además de los ingresos recibidos por el pago de la consulta, que no son muy altos. Existen dos instituciones que manejan sus propias unidades

médicas, por un lado se encuentran las unidades de la Secretaría de Salubridad y Asistencia (SESA) que ofrece sus servicios a la población abierta, pero en especial a la población pobre del país, a los campesinos y trabajadores del sector industrial, así como auto empleados que no cuentan con seguro. El IMSS-Oportunidades es un programa reciente que trata de ofrecer atención médica en zonas rurales donde la población vive en extrema pobreza, principalmente donde existen etnias indígenas. El problema existente en este rubro, es que ambas instituciones brindan los mismos servicios, sin existir una organización integral y una visión en conjunto para la cobertura médica, además que ambas instituciones dan atención a los afiliados al Seguro Popular.

Por último existe el sector privado, que recibe directamente sus fondos de los servicios que ofrece, esta dirigido principalmente para los sectores de la población media y alta, que tienen la solvencia económica para pagar estos servicios. Algunas de estas instituciones proveen seguros médicos y algunas empresas prefieren afiliar a sus empleados a estas instituciones.

Figura 2 - Sistema de Salud en México



Fuente: Modelo Integrador de Atención a la Salud (2006).

2.1.1. Contexto demográfico y condiciones de salud

Con respecto a la cuestión demográfica, de acuerdo al estudio realizado por Gómez, Sesma, Becerril, Knaul, Arreola, & Frenk (2011), México contaba con 106.6 millones de habitantes en el 2008. La población de hombres (48.8%) y mujeres (51.2%) prácticamente no ha variado en los últimos años. Las proyecciones para 2030 estiman una población de 120.9 millones con una tasa de crecimiento anual 0.69%. En este mismo artículo se señala que el desarrollo demográfico reciente en México se ha caracterizado principalmente por tres fenómenos: un descenso de la mortalidad general (al pasar de 27 defunciones por cada 1000 habitantes en 1930, a solo 4.9 por 1000 en 2008), un incremento en la esperanza de vida (al pasar de 34 años en 1930 a 75.1 años en 2008) y por último una disminución de la fecundidad (de 7 hijos por mujer en edad reproductiva en los años 70's a 2.1 en el 2008). Esta tendencia indica un envejecimiento poblacional, lo que generará una mayor población adulta en los próximos años, lo que en el 2050 representara que la población de adultos mayores concentrara a más de la cuarta parte de la población nacional. En la siguiente tabla se muestra de forma resumida los principales indicadores en salud de la población en México.

Tabla 1 Indicadores Básicos, México, 2008

Población total	106 682 518
Esperanza de vida al nacer (años)	75.1
Esperanza de vida a los 60 años	21.2
Tasa de mortalidad general	4.9
Tasa de mortalidad infantil	15.2
Razón de mortalidad materna	57.0
Prevalencia de diabetes en adultos (2006)(%)	14.4
Prevalencia de hipertensión arterial en adultos (2006)(%)	43.2
Proporción de partos atendidos por personal calificado	94.0
Cobertura de vacunación del esquema básico (%)	
- En menores de 1 año	94.5
- Entre 1 y 4 años	97.9
Población cubierta por la seguridad social	48 368 414
Población cubierta por el Seguro Popular de Salud	27 176 914
Población no asegurada	31 137 190
Gasto total en salud como porcentaje del PIB	5.9
Gasto total en salud per cápita*	890
Gasto público en salud como porcentaje del gasto total en salud	46.7
Porcentaje de hogares con gastos catastróficos por motivos de salud	2.4

Fuente: Gómez, y otros (2011).

Por otro lado también es importante resaltar que México se encuentra en un proceso de urbanización, donde más del 70% de la población es urbana y el 35% habita en las nueve zonas metropolitanas con más de un millón de habitantes del país. Esto generó a su vez una mayor dispersión de la población en las comunidades rurales, al pasar en 1970 de tener poco menos de 55 mil localidades con menos de 1000 habitantes, a 140 mil en el año 2000, donde solo habita un poco más del 2% de la población nacional. (Gómez, y otros, 2011)

Con respecto al tema de la salud, en este mismo artículo (Gómez, y otros, 2011), se señala que en los últimos años se han modificado las principales causas de muerte debido al aumento de la esperanza de vida y la creciente exposición de riesgos emergentes, relacionados a estilos de vida poco saludables. En este aspecto, México presenta una transición epidemiológica que se caracteriza por el predominio de enfermedades no transmisibles y las lesiones. En 1940 la principal causa de muerte era las infecciones gastrointestinales, mientras que hoy en día la diabetes mellitus, que hasta 1990 no aparecía dentro del cuadro de las principales causas de muerte, es la principal causa de defunción de hombres y mujeres en todo el país, siendo el 14.4% en adultos y una de las tasas más altas en el mundo. Mientras que en países desarrollados se sustituyeron las infecciones comunes y problemas reproductivos por enfermedades no transmisibles y lesiones, en México, existe un traslape de ambas enfermedades, si bien, estas últimas dominan el perfil de salud del país, las infecciones comunes, los problemas reproductivos y la desnutrición siguen estado presentes en las comunidades con mayor marginación.

En los últimos 50 años se produjo en México un descenso muy importante de la mortalidad en todos los grupos de edad. Este descenso se acompañó de un cambio igualmente significativo en las principales causas de discapacidad y muerte. Hoy en el país predominan como causas de daño a la salud las enfermedades no transmisibles y las lesiones. Estos padecimientos son más difíciles de tratar y más costosos que las infecciones comunes, los problemas reproductivos y las enfermedades relacionadas con la desnutrición, en la primera mitad del siglo XX fueron las principales causas de muerte. Esta transición está íntimamente asociada al envejecimiento de la población y al reciente desarrollo de riesgos relacionados con estilos de vida poco saludables, dentro de los que destacan el tabaquismo, el consumo excesivo de alcohol, la mala nutrición, el consumo de drogas y las prácticas sexuales inseguras. (Gobierno Federal, 2007)

Por otro lado de acuerdo con la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (2005), México muestra una de las distribuciones del ingreso y la riqueza más desiguales del mundo. De acuerdo al informe de la OMS sobre el Sistema de Salud en México, el índice de marginación, utilizando por el gobierno mexicano como medida resumida del grado de privación social y económica; y la falta de acceso a servicios, por lo general es más alto en entidades del centro y sur del país. También se observan disparidades entre estado en la disponibilidad de infraestructura y servicios básico, tales como agua potable, servicios de drenaje, pisos no de tierra y educación. La proporción de la

población con acceso limitado a los servicios de salud es más significativa en las zonas rurales, aunque las estructuras en las zonas urbanas de bajos ingresos no siempre se adaptan a las necesidades. Los problemas de acceso a los servicios de salud también son más pronunciados para la población no asegurada, pues esta vive en zonas rurales donde la atención es otorgada, en su mayoría, por la Secretaría de Salud (SESA) o los servicios que presta el programa IMSS-Oportunidades, que tienen financiamiento menos generoso que aquel con el que cuenta el sistema de seguridad social.

Los servicios de alta especialidad también se encuentran mal distribuidos en el país, un estudio reciente sobre la capacidad existente, indicó que 54 por ciento de la infraestructura se ubica en la Ciudad de México, y en algunos estados ni siquiera existen hospitales de tercer nivel.¹

Los problemas de acceso también se relacionan con la distribución de recursos para servicios de salud entre los estados. Las personas que viven en los estados más ricos del norte del país reciben una atención mejor que quienes habitan el centro y sur del país.

2.1.2. Situación actual en el contexto mundial

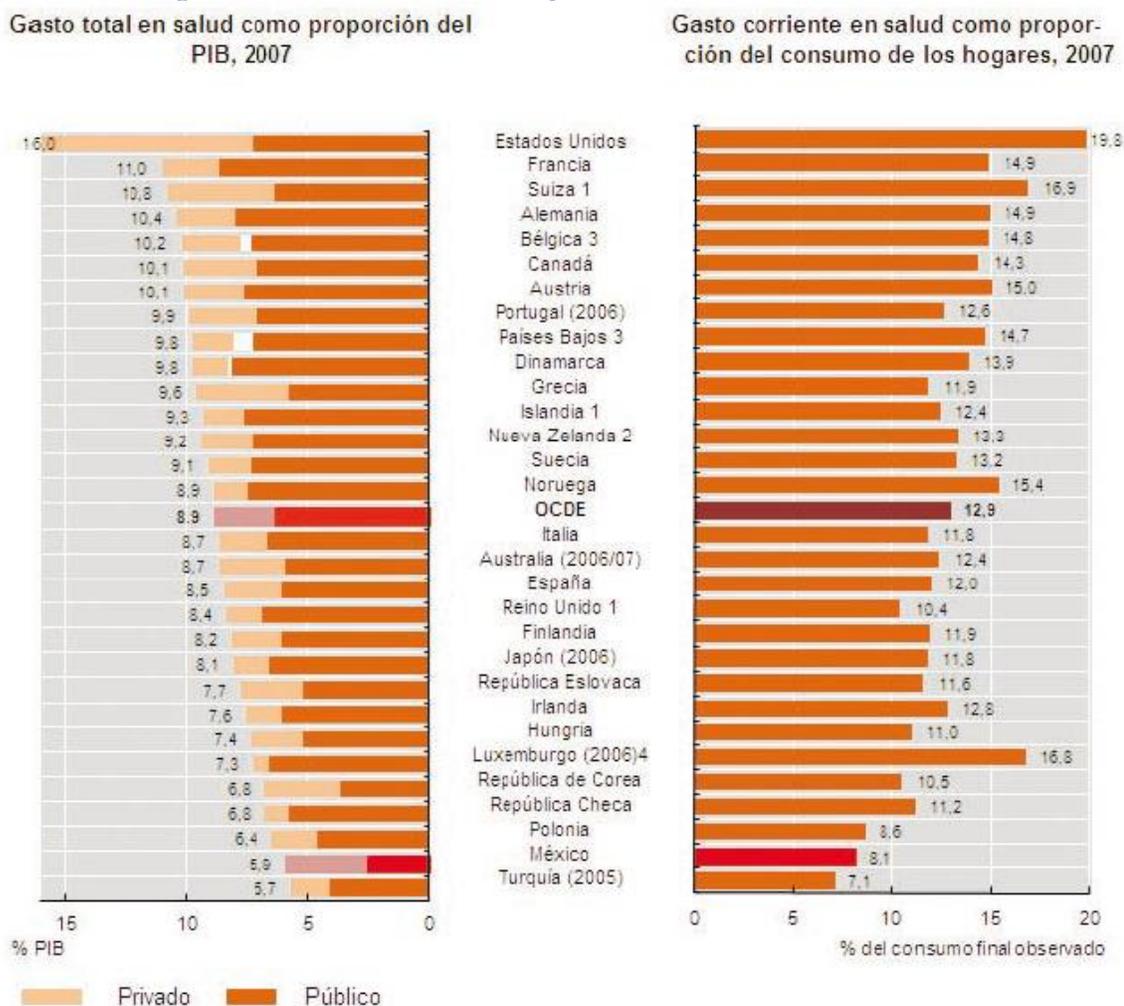
En un artículo publicado por la OCDE se señala que a pesar de que México ha experimentado una mejora notable en las expectativas de vida y una reducción constante en las tasas de mortalidad infantil en las últimas décadas, sigue siendo el cuarto país con las expectativas de vida más bajo de los países miembros de la OCDE y que para avanzar más en los servicios de salud es necesario atender los problemas de las zonas rurales y de los estados más pobres. (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, 2005)

De acuerdo con las estadísticas sanitarias mundiales de la OMS del 2011 en el aspecto de Gasto total en salud como porcentaje del PIB, de 193 países miembros de la OMS, México se encontraba en el año 2000 en la posición 191 junto con Burkina Faso y Nepal, con 5.1%, mientras que Islas Marshall, Sierra Leona y Estados Unidos fueron los países con mayor inversión en salud con 20.3%, 14.6% y 13.4% respectivamente. Para el año 2008, México escaló a la posición 102, con un gasto en salud del 5.9%, junto con otros 5 países, mientras que Estados Unidos se encontró en la primera posición con el 15.2%. (Organización Mundial de la Salud, 2011).

Mientras tanto de acuerdo con la clasificación de los países de la OCDE, como se muestra en la Figura 3, México se encontró en penúltimo lugar de una lista de 30 países, solo por encima de Turquía.

¹ Estudio realizado por el Centro Nacional de Excelencia Tecnológica en Salud (CENETEC) en preparación para el Plan Maestro de Infraestructura.

Figura 3 - Gasto en salud de los países miembros de la OCDE, 2007



1. Gasto total en salud en ambas gráficas.
2. Gasto corriente en salud en ambas gráficas.
3. Gasto en salud para población asegurada y no asegurada de la población residente.
4. Separación de gastos en inversiones en el sector público y privado, no disponible.

Fuente: OCDE Datos sobre Salud (2010).

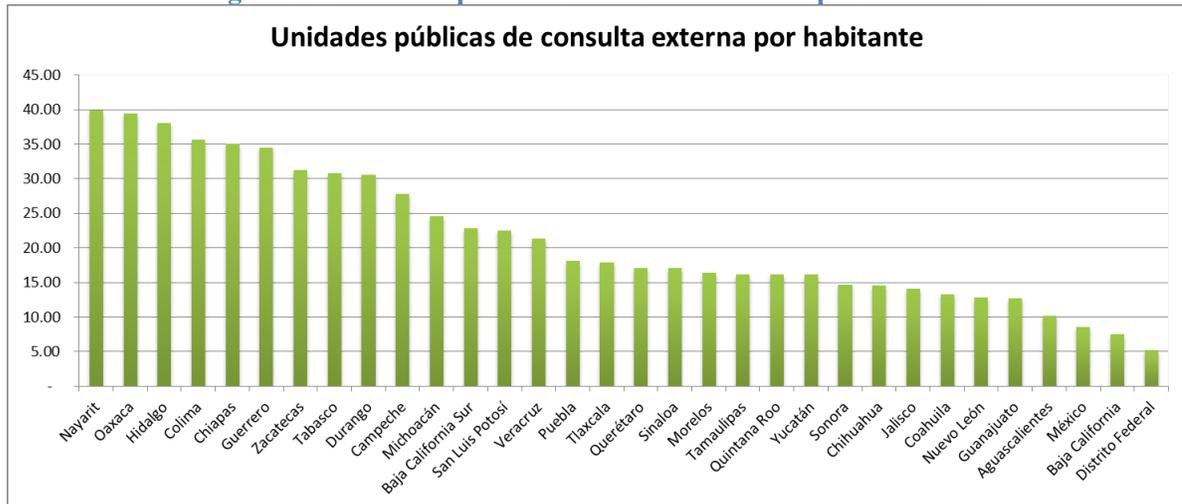
2.1.3. Situación actual en el contexto interno

Se tomaron como base del estudio los indicadores básicos de salud poblacional y de operación del sistema de salud del informe de *Rendición de Cuentas en Salud 2009*, estos tienen como objetivo proporcionar información actualizada sobre la salud de la población en el país y en las entidades federativas, sobre la disponibilidad de recursos y la productividad de recursos.

2.1.3.1. Recursos de infraestructura

En cuanto a los indicadores de disponibilidad de recursos, en el 2009, dentro de las instituciones públicas del Sector Salud se contaba con 18 unidades de consulta externa por cada cien mil habitantes; Nayarit, Oaxaca e Hidalgo fueron las entidades que registraron una mayor disponibilidad de estas unidades, con 39.9, 39.4 y 38 unidades publicas de consulta externa por cada 100 mil habitantes, situación que contrasta con la registradas en el Distrito Federal, Baja California y el Estado de México, con 5.2, 7.5 y 8.5 respectivamente (*Ver Anexo 1*). En la Figura 4, se muestra la variación en cuanto a este recurso en el país, siendo éste, uno de los principales problemas que enfrenta el Sistema de Salud de México.

Figura 4 - Unidades públicas de consulta externa por habitante



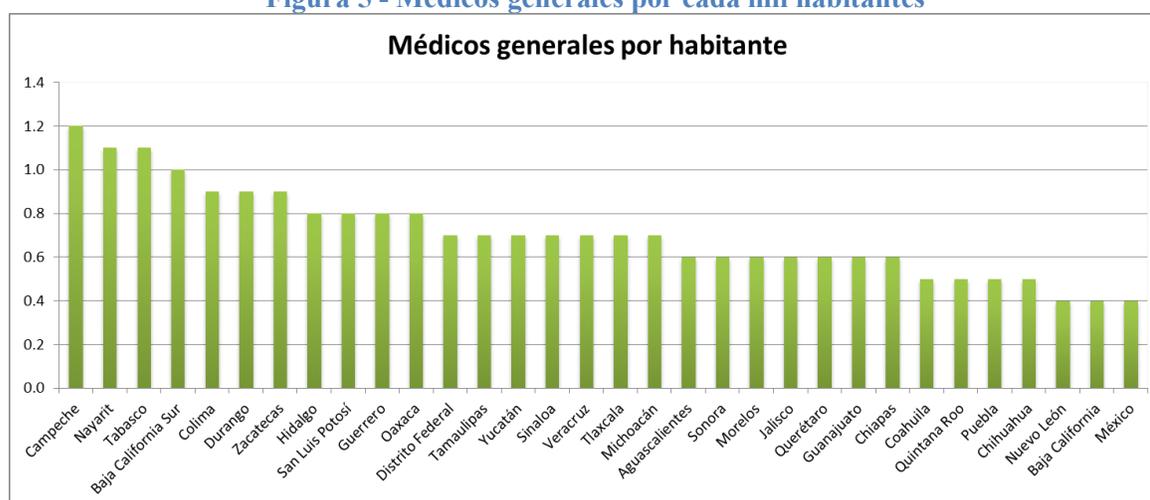
Fuente: Informe de Rendición de Cuentas en Salud 2009.

Por otra parte, la disponibilidad de consultorios totales fue de en promedio 5.5 por cada diez mil habitantes, de los cuales 3.1 son consultorios de medicina general. Colima, Baja California Sur y Tabasco fueron las entidades con mayor disponibilidad de consultorios totales, con 8.9, 8.7 y 8.7 por diez mil habitantes, respectivamente. En el extremo opuesto, la menor disponibilidad la tuvieron Baja California, el Estado de México, Guanajuato y Quintana Roo con solo 3.4, 3.4, 4.4 y 4.4 consultorios, respectivamente(*Ver Anexo 1*).

2.1.3.2. Recursos de humanos

En cuanto a los recursos humanos, en 2009, se contó en las instituciones públicas de salud con 163,734 médicos en contacto con los pacientes, de los cuales el 41.4% eran médicos generales y el 58.6% especialistas. Así, la disponibilidad de médicos fue de 1.5 por mil habitantes, la de médicos generales fue de 0.6 y la de médicos especialistas de 0.9. La mayor disponibilidad poblacional de médicos generales se registró en Campeche, Nayarit y Tabasco con 1.2, 1.1 y 1.1 por mil habitantes, respectivamente. Mientras que la menor disponibilidad se registró en Baja California, Estado de México y Nuevo León con 0.4 médicos generales por mil habitantes, en cada uno (*Ver Anexo 1*). En la Figura 5, se aprecia la variación de la disponibilidad de médicos generales por cada mil habitantes en todos los estados de la república.

Figura 5 - Médicos generales por cada mil habitantes



Fuente: Informe de Rendición de Cuentas en Salud 2009.

2.1.3.3. Recursos financieros

Las entidades federativas que más recursos de su PIB destinaron a salud en el 2009, se encuentran Nayarit, Oaxaca y Baja California Sur con 4.7%, 4.6% y 4.6% respectivamente; por el contrario las entidades Campeche, Nuevo León y Tabasco son las que menos gasto público con respecto al PIB destinan con 0.4%, 1.6, y 1.9% respectivamente. El Estado de México ocupa el puesto 17 dentro de esta categoría con un 3.2% con respecto al PIB (*Ver Anexo 1*).

2.1.3.4. Operación de servicios

Durante el 2009, la productividad en cuanto al número de consultas externas generales fue en promedio de 12.3 consultas diarias por médico. El Estado de México es el estado con mayor número de consultas diarias por médico con 19 consultas, al cual le siguen Yucatán y Baja California con 15.8 consultas. Mientras tanto los estados con menor número de consultas diarias son Campeche, Colima y Baja California Sur con 7.8, 9 y 9.5 consultas diarias respectivamente.

Por otro lado, en el aspecto de calidad en la gestión de los servicios, se registró en el Sistema Nacional de Indicadores de Calidad en Salud (INDICAS) que en el 2009, el tiempo promedio de espera para recibir atención de consulta externa en las unidades de primer nivel de atención fue de 25.9 minutos, cifra que se encuentra debajo del valor estándar de 30 minutos. Los estados con menor tiempo de espera son Aguascalientes, Morelos y Zacatecas con 10.8, 11.8 y 14.5 minutos respectivamente. En el lado opuesto, los estados que muestran un mayor rezago en este rubro son el Estado de México, Puebla y San Luis Potosí con 44.9, 34.9 y 34.2 minutos respectivamente.

2.1.4. Situación del Estado de México

Como se observa en los indicadores anteriores, el Estado de México es uno de los estados que más rezago enfrenta en cuanto a la cobertura de atención en salud pública se refiere. En la Tabla 2 se muestran algunos de los principales indicadores en salud utilizados por el gobierno para evaluar la situación a nivel estatal, se aprecia entre los principales indicadores que el Estado de México. En cuanto a consulta externa ocupa el trigésimo lugar en unidades de consulta externa por habitante, el último lugar en médicos por habitante y médicos generales por habitante, al igual que enfermeras por habitante; también ocupa el primer lugar en promedio diario de consultas por día y el mayor tiempo de espera por parte de los paciente para recibir consulta externa. En cuestión de hospitales por habitante ocupa el ultimo lugar, al igual que en el número de camas hospitalarias por habitante censables y no censables, así como en el número de quirófanos por habitante. En cuanto al número de familias aseguradas ocupa el primer lugar en el país y es el estado que más gasto publica en salud destina como porcentaje del gasto publico pero a la vez el que menos gasto publico en salud tiene per cápita para la población asegurada y el decimo séptimo lugar para la población no asegurada.

Tabla 2 Indicadores en Salud del Estado de México 2009

Entidad	EUM	Máx	Mín	Edo. Méx.	Ranking
Promedio diario de consultas por médico	12.3	19	7.8	19	1
Tiempo de espera en consulta externa	25.9	44.9	10.8	44.9	1
Porcentaje de usuarios satisfechos con el trato recibido en el primer nivel	97.1	99	91.9	95.8	31
Abasto de medicamentos	88.4	94.1	71.6	93.3	5
Familias afiliadas al SPSS	10,514,325	1,069,509	42,545	1,069,509	1
Porcentaje de familias afiliadas al Seguro Popular beneficiarias del Programa Oportunidades	29.1	49.6	0	30.9	16
Gasto público en salud como porcentaje del PIB	3.1	4.7	0.4	3.2	17
Gasto público en salud per cápita por condición de aseguramiento Población. Asegurada	4,143.4	10,902.9	1,969.1	1,969.1	32
Gasto público en salud per cápita por condición de aseguramiento Población no asegurada	2783	5721.2	1273.5	2310	17
Gasto público en salud como porcentaje del gasto público total	16.4	32.4	7.7	32.4	1
Contribución federal y estatal al gasto público en salud para población sin seguridad social 3/ % Federal	83.6	98	59.5	59.5	32
Contribución federal y estatal al gasto público en salud para población sin seguridad social % Estatal	16.4	40.5	2	40.5	1
Médicos por habitante	1.5	3.3	0.9	0.9	32
Médicos generales por habitante	0.6	1.2	0.4	0.4	32
Médicos especialistas por habitante	0.9	2.6	0.4	0.5	31
Enfermeras por habitante	2.2	4.8	1.3	1.3	32
Relación de enfermeras por médico	1.3	1.6	1.2	1.4	14
Unidades públicas de consulta externa por habitante	18	39.9	5.2	8.5	30
Hospitales públicos por habitante	1.1	3.3	0.5	0.5	32
Consultorios por habitante Totales	5.5	8.9	3.4	3.4	32
Consultorios por habitante Generales	3.1	5.2	1.4	2.1	30
Camas hospitalarias por habitante Censables	0.7	1.7	0.4	0.4	32
Camas hospitalarias por habitante No censables	0.5	0.9	0.3	0.3	32
Quirófanos por habitante	3.1	6.9	1.4	1.4	32

Fuente: Informe de Rendición de Cuentas en Salud 2009.

2.1.5. Presupuesto Basado en Resultados

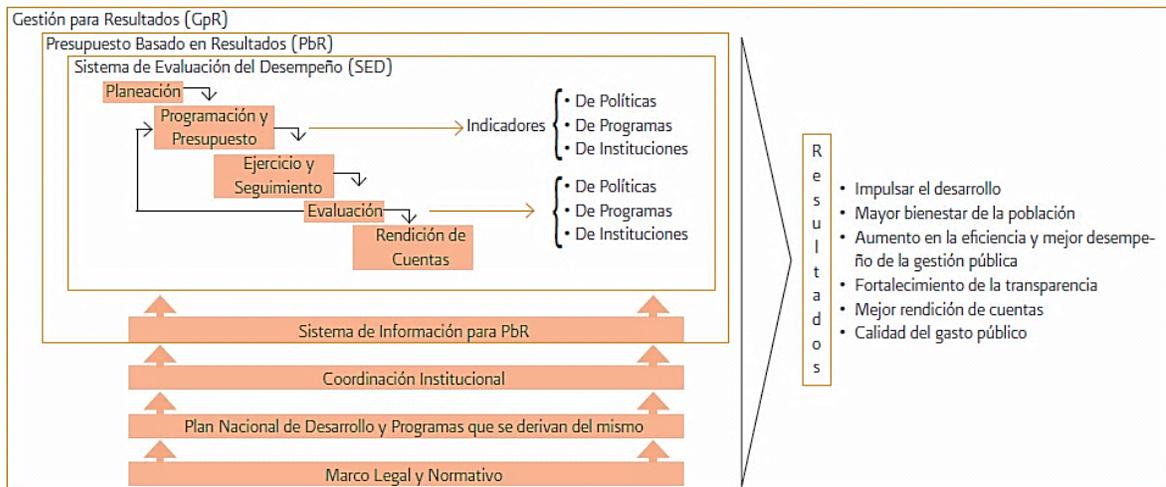
En México, durante los últimos años, se han realizado diversos esfuerzos y modificaciones estructurales al proceso presupuestario con el fin de mejorar la definición de políticas y

programas públicos como el proceso de toma de decisiones en la asignación de recursos presupuestarios. Para ello se utiliza un nuevo enfoque de gestión pública denominado “Gestión para Resultados” (GpR), este es una estrategia que busca hacer más efectivo el desempeño de las instituciones públicas, con base en el logro de los mejores resultados. (Secretaría de Salud, 2010)

El GpR define cinco principios que sustentan la administración del desempeño institucional: 1. Centrar el dialogo en resultados, 2. Alinear las actividades de planeación, programación, presupuestación, monitoreo y evaluación con base en los resultados previstos, 3. Mantener el sistema de generación de informes de resultados lo más sencillo, económico y practico como sea posible. 4. Gestionar para, no por, resultados, 5. Usar la información sobre resultados para el aprendizaje administrativo, mejorar la toma de decisiones y para fortalecer la rendición de cuentas y el acceso a la información.

Como se muestra en la Figura 6, en el GpR se establece interacción de elementos que permiten la creación de valor público y las etapas que sustentan el desarrollo y operación del Sistema de Evaluación del Desempeño: a) las políticas y estrategias (planeación); b) la programación y presupuesto; c) la ejecución, y d) la evaluación y rendición de cuentas.

Figura 6 - Gestión para Resultados, Presupuesto Basado en Resultados y Sistema de Evaluación del Desempeño



Fuente: Informe de Rendición de Cuentas en Salud 2009.

2.2. Plan Nacional de Desarrollo 2007-2011 del Gobierno Federal

En la siguiente tabla se muestran los objetivos trazados por el Gobierno Federal, cada uno de los cuales se encuentra sustentado de acuerdo a las estrategias establecidas en el Plan Nacional de Desarrollo (PND) de la actual administración.

Tabla 3 Objetivos y Estrategias del PND 2007-2011

Objetivo	Estrategias
Mejorar las condiciones de salud de la población	<ul style="list-style-type: none"> • Fortalecer los programas de protección contra riesgos sanitarios • Promover la participación activa de la sociedad organizada y la industria en el mejoramiento de la salud de los mexicanos • Integrar sectorialmente las acciones de prevención de enfermedades
Brindar servicios de salud eficientes, con calidad, calidez y seguridad para el paciente	<ul style="list-style-type: none"> • Implantar un sistema integral y sectorial de calidad de la atención médica con énfasis en el abasto oportuno de medicamentos • Mejorar la planeación, la organización, el desarrollo y los mecanismos de rendición de cuentas de los servicios de salud para un mejor desempeño del Sistema Nacional de Salud como un todo • Asegurar recursos humanos, equipamiento, infraestructura y tecnologías de la salud suficientes, oportunas y acordes con las necesidades de salud de la población
Reducir las desigualdades en los servicios de salud mediante intervenciones focalizadas en comunidades marginadas y grupos vulnerables	<ul style="list-style-type: none"> • Promover la salud reproductiva y la salud materna y perinatal, así como la prevención contra enfermedades diarreicas, infecciones respiratorias agudas, y otras enfermedades asociadas al rezago social que persiste en la sociedad • Ampliar la cobertura de servicios de salud a través de unidades móviles y el impulso de la telemedicina • Fortalecer las políticas de combate contra las adicciones causadas por el consumo de alcohol, tabaco y drogas.
Evitar el empobrecimiento de la población por motivos de salud mediante el aseguramiento médico universal	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar un sistema integrado de salud para garantizar el acceso universal a servicios de alta calidad y proteger a todos los mexicanos de los gastos causados por la enfermedad • Consolidar la reforma financiera para hacer efectivo el acceso universal a intervenciones esenciales de atención médica, empezando por los niños • Consolidar el financiamiento de los servicios de alta especialidad con un fondo sectorial de protección contra gastos catastróficos • Promover la concurrencia equitativa entre órdenes de gobierno para las acciones de protección contra riesgos sanitarios y promoción de la salud
Garantizar que la salud contribuya a la superación de la pobreza y al desarrollo humano en el país	<ul style="list-style-type: none"> • Consolidar la investigación en salud y el conocimiento en ciencias médicas vinculadas a la generación de patentes y al desarrollo de la industrial nacional. • Garantizar un blindaje efectivo contra amenazas epidemiológicas y una respuesta oportuna a desastres para mitigar el daño al comercio, la industria y el desarrollo regional • Promover la productividad laboral mediante entornos de trabajo saludables, la prevención y el control de enfermedades discapacitantes y el combate a las adicciones.

Fuente: Plan Nacional de Desarrollo (2007)

De acuerdo estas estrategias, una de más importantes y relacionada a esta investigación, es asegurar los recursos humanos, el equipamiento, la infraestructura y las tecnologías de la salud suficientes, oportunas y acordes con las necesidades de salud de la población. Las características de esta vertiente de política incluyen la edificación de más hospitales regionales, en general, la ampliación de la infraestructura de salud y sus equipos en las tanto en las ciudades, como en el campo; y la mejora y el mantenimiento de las instalaciones que ya funcionan. En materia de infraestructura física en salud se consolidará la red de servicios de atención a la salud, priorizando la red de hospitales regionales de alta especialidad y las unidades de especialidades médicas. Asimismo, se implementará un programa nacional de conservación y mantenimiento de la infraestructura en salud, así como el desarrollo de infraestructura en cuanto a especialidades médicas. Para impulsar esta estrategia se incentivará la inversión de asociaciones público-privadas. (Gobierno Federal, 2007)

Otra estrategia concerniente a esta investigación es ampliar la cobertura de servicios de salud a través de unidades móviles y el impulso de la telemedicina. Para atender la salud de la población que habita en localidades pobres alejadas y dispersas que carecen de unidades médicas o de ciertos servicios médicos, se pondrán en operación equipos itinerantes de salud, asimismo, se reorganizarán e integrarán los espacios de atención (hogar, comunidad y unidades médicas ambulatorias y hospitalarias) mediante estándares compartidos y confiables que garanticen la continuidad de la atención, y a través del establecimiento de redes de telemedicina. Esta estrategia articula los esfuerzos desarrollados por distintas instituciones de salud para favorecer la disponibilidad de los servicios a nivel comunitario y familiar en localidades cuyas características geográficas y sociodemográficas impiden o dificultan el acceso a la red de servicios de salud. Con esta estrategia se busca que la mayor capacidad resolutoria de los problemas básicos de salud se encuentre disponible y al alcance de todas las personas, sin que éstas tengan que realizar grandes desplazamientos, trámites complicados o pasar por múltiples filtros. Esta estrategia combina la atención ambulatoria especializada a nivel comunitario, la telemedicina y la creación de nuevas unidades de atención a la salud. (Gobierno Federal, 2007)

Por último, concerniente a la investigación, se tiene como estrategia su consolidación en el área de la salud. México cuenta con los recursos y activos necesarios para generar investigación y conocimiento en ciencias de la salud. Sin embargo, la creación de nuevo conocimiento rara vez alcanza a materializarse en bienes comerciables y generadores de ingreso para sus autores y para el país en su conjunto. Para que la investigación en ciencias de la salud se convierta en un motor generador de empleos en el país, se establecerá una agenda nacional que incentive dicha investigación, particularmente en el área biotecnológica, pero que también facilite y estimule el registro de patentes de nuevos procesos y productos, e impulse la comercialización e industrialización de los mismos. (Gobierno Federal, 2007)

2.3. Modelo de Atención Primaria a la Salud

En el MASPA se utiliza en cada entidad federativa para dimensionar el tamaño de la población que recibirá atención integral y servicios de salud pública, de igual forma para determinar la población a lo que no se le prestan los servicios permanente, e identificar áreas críticas en las que se debe organizar acciones que permitan ampliar la cobertura de acuerdo a los siguientes factores:

- Número y tamaño de las localidades
- Grado de dispersión y concentración geográfica de las localidad, así como su densidad de población
- Condiciones étnicas y socioculturales
- Situación epidemiológica
- Disponibilidad de medios y vías de comunicación con tiempos de traslado definidos de acuerdo con las condiciones locales
- Acceso a los servicios de salud

Para identificar la demanda de atención es necesario considerar los recursos con los que cuenta la secretaria de salud de acuerdo al MASPA (Secretaria de Salud, 2005).

Casa de Salud

La casa de salud constituye la estructura física más sencilla del modelo, es adaptable a cualquier espacio que se le brinde, o bien, puede construirse exprofeso. Se ubica en localidades de 500 a 1000 habitantes. La auxiliar de salud que labora en ella cuenta con un manual de operación y un botiquín básico, realiza actividades intra y extra muros de atención a la salud de las personas así como al mejoramiento ambiental.

Unidad Auxiliar

La unidad auxiliar de salud pudiera parecer duplicadora de la casa de salud, ya que se ubica en localidades del mismo rango de población y se distingue por tener localidades con mayor dispersión geográfica, con un perfil epidemiológico crítico y porque en ella labora personal profesional.

Unidad Móvil

La unidad móvil, no tiene asignada cobertura poblacional fija, pero si cubre un área geográfica determinada, consolida y perfecciona las labores de los centros de salud y visita comunidades muy dispersas y de difícil acceso. La integran elementos profesionales como

pasante de medicina en servicio social, médicos generales, auxiliares de enfermería y pasantes de odontología.

Centros de Salud

Son las unidades del primer nivel de atención en las que se desarrollan acciones dirigidas al individuo, a la familia, a la comunidad y a su medio ambiente; los servicios están enfocados principalmente a preservar la salud por medio de actividades de promoción, prevención, curación y rehabilitación, cuya resolución es factible con recursos de poca complejidad técnica; estimulan además, las formas de organización y participación comunitaria en los servicios.

La unidad funcional de los centros de salud es el núcleo básico de servicios, conformados por un médico familiar o general y dos enfermeras. En caso de no contar con este núcleo, se conformara por la integración de un médico y una enfermera; la sustitución del médico y enfermera por pasantes de estas carreras; y con el personal técnico en localidades rurales donde no exista personal profesional.

El núcleo básico será responsable de la atención intramuros y de las actividades de campo. Prestará sus servicios a la población del área geográfica de su responsabilidad en consultorio equipado y estará apoyado con un promotor de salud contratado ex profeso, por cada 3 núcleos básicos.

La operación y ubicación de los centros de salud se sustenta en los criterios de regionalización, su capacidad resolutive estará de acuerdo con las necesidades de la población de responsabilidad considerando que un núcleo de servicios de salud pueda atender hasta 500 familias. Un consultorio físico puede contener hasta dos núcleos básicos.

El centro de salud rural para población concentrada se ubica en localidades de 2500 a 15000 habitantes. El centro de salud urbano se localiza en localidades de más de 15000. Los centros de salud podrán contar desde uno hasta doce núcleos. El centro de salud con un núcleo básico tiene una cobertura de 100 a 500 familias; se ubica en áreas rurales o urbanas.

Contará con servicios de atención médica preventiva, curativa y de rehabilitación, promoción de la salud, saneamiento ambiental y de la vivienda, vigilancia epidemiológica, referencia de pacientes, atención del parto eutócico y atención de las urgencias médicas. Los centros de salud con dos a 12 núcleos básicos son responsables de proporcionar servicios a las poblaciones de más de 500 y hasta 6000 familias.

Proporcionan servicios de complejidad creciente. Podrá otorgar atención odontológica a partir de dos núcleos, y de acuerdo con estudios de regionalización y demanda. A partir del sexto núcleo contará con servicios de laboratorio clínico y, de disponer de un séptimo, de

servicios de rayos “x”. Así mismo, desarrollara actividades de investigación y de capacitación permanente. Contará con camas de tránsito para la atención de parto eutócicos, atención de urgencias médicas y aplicación de sangre segura. Tiende de uno a seis consultorios. Dispone de sala de espera, odontología, sala de expulsión, y de recuperación, central de equipos y esterilización, laboratorio, rayos “x”, inmunizaciones, dirección, administración, farmacia, en caso necesario habitación para el médico, y sanitarios.

Unidades Hospitalarias

Comprende acciones dirigidas al individuo, a la familia, a la comunidad y al medio ambiente, en las que se realizan acciones preventivas, curativas y de rehabilitación. Se ofrece atención médica especializada para pacientes ambulatorios y de hospitalización, a personas que son referidas de los centros de salud o que se presentan espontáneamente y cuya atención requiere de la conjunción de tecnología, equipo y recursos materiales a cargo de personal especializado. Realizan acciones de vigilancia epidemiológica, prevención, saneamiento básico, enseñanza e investigación y promoción de la participación social.

Hospitales generales que atienden entre 20 000 y 50 000 habitantes.

Brinda atención médica integral correspondiente a patología de mediana complejidad y frecuencia para pacientes ambulatorios o que requieren hospitalización, proporcionada por médicos especialistas de las cuatro ramas: cirugía general, gineco-obstetricia, medicina interna y pediatría, con el apoyo de los servicios de anestesiología. Dispone de servicios de diagnóstico y tratamiento a través de laboratorio clínico, gabinete de radiología y servicios de transfusión o banco de sangre.

Hospital general que atiende de 50 000 a más de 150 000 habitantes.

Cuenta con múltiples del núcleo de servicios de salud y un equipo de médicos especialistas y sub especialistas de diversas áreas, de acuerdo con la complejidad media, alta o la combinación de ambas. La incorporación de sub especialistas debe hacerse una vez que se ha logrado la consolidación de las especialidades básicas.

Hospital general para más de 250 000 habitantes.

Dispone de servicios de alta capacidad resolutive, utilizando tecnología avanzada. Al igual que las otras unidades, está en posibilidad de resolver regionalmente los daños a la salud y apoyar a otras unidades médicas del propio estado y de otros circunvecinos.

Regionalización

La regionalización es la conformación de áreas geo-demográficas delimitadas con características étnicas, culturales, económicas, políticas, sociales, ambientales y de desarrollos comunes, con el fin de planificar la prestación de los servicios, hacer uso óptimo de los recursos y poder responder así a las necesidades de atención a la salud particulares de la región. Se consideran límites bien definidos, no necesariamente de acuerdo a las estructuras administrativas actuales, de manera que se establezca coordinación interinstitucional, interestatal e intermunicipal para aumentar la capacidad resolutive y garantizar una mayor accesibilidad a los servicios.

Para definir cada región debe tomarse en cuenta los criterios que establece el Estudio de Regionalización Operativa (ERO), complementados con las características socioculturales y el perfil epidemiológico de la población.

Redes de Servicios

La organización de Redes de Servicios sirve para lograr integralidad en la atención a la población. Requiere de un sistema de interrelación que permite complementar los servicios que prestan las unidades, sin necesidad de aumentar la capacidad instalada y los recursos humanos existentes.

2.4. Modelo Integrador de Atención a la Salud

En el 2004, el Congreso de la Unión aprobó una reforma a la Ley General de Salud que establece el sistema de protección social en la materia. En este sentido, se creó el Sistema de Protección Social en Salud, cuyo brazo operativo es el Seguro Popular de Salud, que tiene como meta, cubrir progresivamente a todos aquellos que han quedado excluidos de la seguridad social convencional, entre los que se puede mencionar a trabajadores por cuenta propia, desempleados, trabajadores del sector informal de la economía y personas fuera del mercado laboral (Secretaría de Salud, 2006).

Este seguro permite garantizar el acceso, sin desembolso en el momento de su utilización, a un paquete con una amplia gama de intervenciones, ambulatorias y hospitalarias, y los medicamentos correspondientes. De esta manera se eliminan las barreras financieras que dificultaba la atención integral de la salud para un alto porcentaje de la población.

Debido a esto, en el Modelo Integrador de Atención a la Salud (MIDAS) se plantea que el SMS requiere de un modelo de prestación de servicios que elimine también las barreras geográficas, organizacionales y culturales de acceso de los servicios de salud, que asegure

la calidad, confiabilidad y continuidad de la atención; y amplíe la libertad de elección del prestador primario de los servicios de salud.

El Modelo Integrador de Atención a la Salud (MIDAS) busca este nuevo modelo de atención: crear las condiciones para que todas las unidades, instituciones y sectores del SMS trabajen, sin fusionarse, de manera coordinada para garantizar una atención pronta, efectiva, segura, continua, centrada en el paciente y respetuosa de los derechos humanos de los usuarios de los servicios de salud.

El MIDAS está integrando funcionalmente a los tres grandes componentes del SMS, las instituciones públicas dedicadas a atender a la población no asegurada (Servicios Estatales de Salud (SESA), IMSS-Oportunidades), las instituciones de seguridad social (IMSS, ISSSTE, ISSFAM, SM y PEMEX) y el sector privado, y sus respectivas unidades. Por lo pronto, las reformas del 2003 y las innovaciones organizacionales que la acompañan, han incrementado el grado de integración de las unidades al interior de las diversas instituciones y permiten ya una mayor utilización cruzada de servicios.

2.4.1. Relación con el MASP

EL MIDAS recoge la experiencia de otros modelos de atención que se ha desarrollado en los niveles federales y estatal tanto en las instituciones de seguridad social como en las instituciones dedicadas a atender a la población no asegurada. Su antecedente más inmediato en la Secretaría de Salud es el MASP, que se diseñó en 1985, el cual se revisó y actualizó en 1995 (Secretaría de Salud, 2006).

El MIDAS no tiene como objetivo sustituir al MASP sino proporcionar el marco integrador que permita adaptarlo a las nuevas exigencias, normara la presentación de servicios en los Servicios Estatales de Salud y aspira a convertirse en guía de la operación de servicios en todas las unidades y redes del sector.

CAPÍTULO 3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

En este capítulo se muestra la revisión de la literatura sobre los modelos de localización-asignación existentes y su aplicación en distintas áreas, principalmente el sector público en el área de salud. Se analizarán diferentes modelos aplicados en la localización de unidades médicas y la metodología utilizada, que serán tomados en cuenta para el desarrollo de esta investigación. Para la selección del modelo matemático base de esta investigación se comparará la estructura de operación de la Secretaria de Salud y los modelos de localización-asignación identificados con el fin de encontrar aquel modelo que tenga características similares a la problemática existente. Con esta revisión de la literatura se tendrán las bases necesarias para el diseño del modelo.

En las últimas décadas se ha dado un crecimiento significativo en el campo de la modelación para la localización de instalaciones, debido a que esta política es una de las áreas más rentables para el análisis de sistemas implicados y con muchas áreas de oportunidad para la investigación teórica. La ciencia matemática de localizar instalaciones ha atraído mucho la atención en la optimización discreta y continua a lo largo de las últimas décadas.

Los problemas de localización de instalaciones identifican la ubicación de un conjunto de instalaciones, también llamados recursos, para minimizar el costo de satisfacer un conjunto de demandas, conocidos como clientes, con sus respectivos conjuntos de restricciones. La decisión de localizar una instalación es un elemento crítico en la planeación estratégica para cualquier empresa pública o privada.

El área de la localización en el estudio analítico se remonta a Pierre de Fermat, Evangelistica Torricelli, y Battista Cavallieri. Cada uno propuso de forma independiente el problema básico espacial euclidiano de la mediana a principios del siglo XVII. (Zanjirani Farahani & Hekmatfar, 2009)

El estudio de la localización teórica inició formalmente en 1909 cuando Alfred Weber consideró como localizar un solo almacén para minimizar la distancia total entre éste y diversos clientes. Después de eso, se empezaron a realizar diversas aplicaciones y fue ganando interés, en 1964 con la publicación de Hakimi (1964) se trató de localizar centros de conmutación en redes de comunicación y estaciones de policía en un sistema de carreteras. (Zanjirani Farahani & Hekmatfar, 2009)

Existen cuatro componentes que describen los problemas de localización: clientes, que se asume que se encuentran ubicados en puntos o rutas; instalaciones, las cuales serán localizadas; el espacio en el cual clientes e instalaciones serán ubicadas, y una métrica que indica distancia o tiempo entre clientes e instalaciones.

Los modelos de localización pueden tener una gran variedad de aplicaciones, estos pueden diferir en su función objetivo, en la métrica de distancia utilizada, el número y tamaño de instalaciones a localizar y muchas otras variables de decisión. Dependiendo de todo esto, la inclusión o consideración de varios de estas variables en la formulación del problema lleva la utilización de muchos diferentes modelos de localización.

Entre los libros más representativos de este temas, se encuentra Mirchandani & Francis (1990) donde se habla de sobre la teoría de localización discreta. En Francis, McGinnis, & White (1992) se habla sobre algunos modelos predominantes como el problema simple o de multi-localización de instalaciones, problemas de localización asignación cuadrática y problemas de cobertura. Daskin (1995) se enfocó sobre los problemas de localización discretos. Drezner (1995) describió algunos modelos y aplicaciones en localización. En Drezner & Hamacher, Facility Location: Theory and Algorithms (2002) se habla acerca de la teoría y aplicaciones de localización. En Nickel & Puerto (2005) extendieron una encuesta completa en el área de redes continuas y redes basadas en modelos de localización especialmente acerca de problemas de localización de la mediana. Por último cabe mencionar a Zanjirani Farahani & Hekmatfar (2009) donde se habla sobre los modelos clásicos de localización simple y múltiple, el problema de la media, problema de centro y el problema de cobertura, modelos contemporáneos como modelos de localización jerárquicos, problema de localización hub y modelos de localización competitiva y modelos avanzados como localización en cadena de suministro.

3.1. Modelos de Localización - Asignación

Los problemas de localización-asignación consisten en identificar la ubicación de un conjunto de nuevas instalaciones de tal forma que el costo de transporte sea minimizado y un número óptimo de instalaciones se encuentre en un nivel adecuado para satisfacer la demanda del cliente. Este tipo de problemas se emplean cuando todas las instalaciones proveen un servicio homogéneo.

Este modelo fue inicialmente propuesto por Cooper (1963) y se extendió a una red ponderada por Hakimi (1964), una red para el problema de localización asignación y varios modelos también fueron propuestos por (Badri, 1999)

Los modelos de localización-asignación buscan la ubicación de instalaciones o servicios (escuelas, hospitales, almacenes, etc.) de tal forma que se optimice uno o varios objetivos generalmente relacionados con la eficiencia del sistema o la asignación de recursos. (Marianov & Serra, 2005)

En la actualidad existe una gran variedad de modelos, con diferentes áreas de aplicación y características. En el sentido de esta investigación el enfoque de esta clasificación será orientado en dos grandes rubros: el sector privado y el sector público.

En este caso, la investigación únicamente abarca el sector público, algunos de ejemplos son la localización de servicios de emergencia, como hospitales, estaciones de bomberos, estaciones policíacas y algunos otros servicios públicos como la localización de escuelas, cabe mencionar que estos casos también son aplicables para el sector privado, aunque puede cambiar el objetivo del modelo. En el caso del sector privado el objetivo puede estar dirigido a maximizar la utilidad, aumentar el mercado frente a la competencia, mientras que en el sector público está enfocado en minimizar el costo social, esto es, alcanzar la universalidad del servicio, aumentar eficiencia y mantener la equidad en el acceso a los servicios.

En Marianov & Serra (2005) se realiza una revisión de la literatura de diferentes tipos de modelos clasificados en dos grandes rubros: Los modelos de cobertura y los modelos p-mediana. Los primeros están basados en el concepto de la proximidad aceptable, un valor máximo es presentado para la distancia o tiempo de viaje, si el servicio es provisto por una instalación ubicada dentro de este valor máximo, entonces el servicio es considerado adecuado o aceptable, el servicio es igual de bueno mientras se encuentre dentro de este valor sin importar su distancia. Los segundos están basados en la proximidad, siendo uno de los principales aspectos del análisis, estos modelos buscan minimizar la distancia o tiempo de viaje entre el cliente y la instalación donde se proveerá el servicio.

Los modelos de cobertura se pueden clasificar de igual forma de acuerdo a diferentes criterios. Uno de los criterios más usados es a través del tipo de objetivo, de acuerdo a esto existen dos tipos de formulaciones de objetivos. La primera, tiene como objetivo minimizar el número de instalaciones que se necesitan para que toda la población se encuentre cubierta, y los segundos son aquellos que buscan maximizar la población cubierta, dado un número limitado de instalaciones.

3.1.1. Modelos Básicos de Cobertura

Existen dos modelos básicos de cobertura, el primero es el Location Set Covering Problem (LSCP) o Modelo de Localización de Cobertura Conjunta. Este modelo busca localizar un número mínimo de servidores requeridos para obtener la cobertura obligatoria de toda la demanda, es decir, cada punto de demanda tiene al menos un servidor localizado dentro de una distancia o tiempo estándar S .

$$\text{Minimizar } \left\{ Z = \sum_{j \in J} x_j \right\} \quad 1.1$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in N_i} x_j \geq 1 \quad \forall i \in I \quad 1.2$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J$$

Donde

$J =$ Conjunto sitios elegibles para instalaciones (indizado con j)

$I =$ Conjunto de nodos de demanda (indizado con i)

$$x_j \begin{cases} 1 & \text{si una instalación es localizada en el nodo } j \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

$N_i = \{j | d_{ij} \leq S\}$, con $d_{ij} =$ la distancia más corta entre la instalación potencial colocada en j para el nodo de demanda i , y $S =$ distancia estándar de cobertura.

N_i es el conjunto de todos los sitios que son candidatos para una potencial localización de instalaciones, que esté dentro de una distancia S de nodo demanda i . Si una instalación es localizada en cualquiera de ellos, el nodo de demanda i se encuentra cubierto. El objetivo (1.1) es minimizar el número de instalaciones requerido. Las restricciones (1.2) indica que la demanda en cada nodo i debe ser cubierta por al menos un servidor localizando dentro del tiempo o distancia estándar S .

El segundo modelo de cobertura es el Maximal Covering Location Problem (MCLP) o Problema de Localización de Maximización de Cobertura. Este modelo identifica que la cobertura de toda la población en ocasiones y sin importar lo lejos que viva, puede requerir de recursos excesivos, por lo que no obliga la cobertura para toda la demanda, pero, en su lugar, busca la localización de un número fijo de instalaciones, que probablemente sean insuficientes para cubrir atender la demanda dentro de los estándares, pero trata de maximizarla lo mejor posible.

$$\text{Maximizar } \left\{ Z = \sum_{i \in I} a_i y_i \right\} \quad 2.1$$

Sujeto a:

$$y_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j \quad \forall i \in I \quad 2.2$$

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad \forall i \in I \quad 2.3$$

$$x_j, y_i \in \{0,1\} \quad \forall j \in J, i \in I$$

Los índices, variables y parámetros son los mismos que para el modelo LSCP, con la notación adicional siguiente:

p = el número de instalaciones a ser abiertas

a_i = la población demandante en el nodo *i*

$$y_i \begin{cases} 1 & \text{si la demandada del nodo } i \text{ no esta asignada a una instalacion dentro} \\ & \text{de la distancia } S \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$$

El objetivo (2.1) es maximizar la suma de los pesos ponderados de los nodos de demanda cubierta. Las restricciones (2.2) indica que la demanda en el nodo *i* es cubierta por al menos una instalación que está localizada dentro del tiempo o demanda estándar *S*. La restricción (2.3) indica el número total de instalaciones que pueden ser abiertas.

3.1.2. Modelos P-Mediana

En este problema la finalidad es encontrar el punto medio entre dos puntos candidatos, de tal forma que la suma de los costos pueda ser minimizado a través de una función objetivo. Este tipo de problemas incluyen el establecimiento de servicios públicos como escuelas, hospitales, estaciones de bomberos, servicios de emergencias, etc. La función objetivo en los problemas de la *p*-mediana pertenece a los problemas de tipo minisum. De hecho en estos problemas se trata de identificar las suma de las distancia.

Sus orígenes datan del siglo XVII, donde Fermat propuso un modelo para minimizar la suma de las distancias, éste fue retomado en el siglo XX por Alfred Weber. Él definió un punto de servicio entre tres puntos de demanda de diferentes clientes, de tal forma que la suma de las distancias pudiera ser minimizada. Este problema inicialmente fue llamado el problema de localización-asignación, pero con la introducción de múltiples estaciones de servicio. Hakimi (1964) desarrollo el modelo y mediante la aplicación del peso en el

gráfico, comenzó a encontrar el punto P sobre ella con el fin de minimizar la suma de la distancia ponderada de los puntos.

El siguiente modelo propuesto en Revelle & Swain (1970) es un programa lineal entero que puede ser resuelto por el método de ramificación y acotamiento.

$$\text{Minimizar } \left\{ Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} x_{ij} \right\} \quad 3.1$$

Sujeto a:

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

$$x_{ij} \leq x_{jj} \quad i = 1, \dots, m; \quad j = 1, \dots, n \quad 3.3$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jj} = p \quad 3.4$$

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

Donde

i = índice de los puntos de demanda

m = número total de puntos de demanda

j = índice de sitios potenciales para abrir una instalación

n = número total de sitios potenciales para abrir una instalación

a_i = peso asociado a cada punto de demanda

d_{ij} = distancia entre el área de demanda i y el sitio potencia para abrir una instalación j.

x_j $\begin{cases} 1 & \text{si el nodo de demanda } i \text{ es asignada a la instalación ubicada en } j \\ 0 & \text{en cualquier otro caso} \end{cases}$

En esta formulación se asume que todos los puntos de demanda son también posibles candidatos para colocar las instalaciones de servicio ($m=n$). El primer conjunto de restricciones obliga a que cada punto de demanda sea asignado a una sola instalación. El segundo conjunto de restricciones permite que la demanda en el punto *i* sea asignada al punto *j* únicamente si se ha abierto en este una instalación. Por último, el ultimo conjunto de restricciones es conocido como “Restricción Balinski”, debido a que fue el primero en

describirla en 1965, cuando estudiaba un Problema de Localización de una Planta. Existe una restricción alternativa a esta que puede ser utilizada como se muestra a continuación:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = mx_{jj} \quad i = 1, \dots, m \quad 4.1$$

Esta restricción indica que no se puede asignar un nodo de demanda en el punto j , a menos de que se haya abierto una instalación en este punto.

3.2. Programación por metas

La Programación por Metas (Goal Programming) fue inicialmente introducida por Charnes y Cooper en los años 50. Desarrollada en los años 70 por Ljiri, Lee, Ignizio y Romero, es actualmente uno de los enfoques multicriterio que más se utilizan. (McCarl & Spreen, 2011)

En principio fue dirigida a resolver problemas industriales, sin embargo posteriormente se ha extendido a muchos otros campos como la economía, agricultura, recursos ambientales, recursos pesqueros, etc.

La programación multi-objetivos formalmente permite formulaciones donde:

- a) Las soluciones que son generadas, son lo más consistentes posibles con determinados niveles de metas establecidas.
- b) Las soluciones identificadas representan la máxima utilidad a través de múltiples objetivos
- c) El conjunto de soluciones que son desarrollados, contiene todas las soluciones no dominadas.

La programación multi-objetivo envuelve el reconocimiento que el tomador de decisiones está respondiendo a objetivos múltiples. Generalmente los objetivos se encuentran en conflicto, de tal forma que no todos pueden cumplirse a su nivel óptimo. Una función objetivo asumida es usada para escoger soluciones apropiadas. Diversas funciones fundamentales de utilidad han sido usadas en los modelos multi-objetivos, debido a esto se dividen en tres clases: lexicográficos, utilidad multi-atributo y la utilidad desconocida. (McCarl & Spreen, 2011)

Función de utilidad lexicográfica, esta función asume que el tomador de decisión tiene un sistema de preferencias preventivo estrictamente ordenado entre los objetivos con una meta fija establecida. Este tipo de formulación es típica de los modelos de programación por metas. (Charnes & Cooper, 1961)

Los diversos objetivos se tratarán en el orden estricto establecido, las metas de los objetivos con mayor prioridad se tratan de alcanzar antes que las metas de los objetivos de orden inferior. Una vez que se ha tratado el objetivo (cumpliendo o no la meta deseada), su satisfacción se mantiene fija y se trata el próximo objetivo de orden inferior considerado. La consideración de los objetivos de nivel inferior no altera la satisfacción de los objetivos de nivel superior.

Los modelos con utilidad multi-atributo permiten compensaciones entre los objetivos en la consecución de la máxima utilidad. La forma más común consiste en la maximización de la suma de los objetivos de forma lineal ponderada. Este tipo de formulación ha sido utilizada por Candler y Boeljhe; y Barnett, Blake y McCarl. (McCarl & Spreen, 2011)

Los modelos con utilidad desconocida están basados en este supuesto como su nombre lo indica. La frontera de eficiencia es construida de tal forma que cada solución se reportada mientras que cada uno de los múltiples objetivos sea satisfecho como sea posible sin empeorar los demás objetivos. (Steur, Geoffrion 1968)

El modelo multi-objetivos queda expresado de la siguiente forma.

$$\sum_j g_{rj} X_j \quad \forall r$$

Se asume que la función multi-objetivo esta dada por: GX

Donde existen J variables de decisión X y R objetivos. Por lo tanto, la matriz G es la dimensión de R por J mientras X es j por 1. Esta función objetivo puede ser expresada en la siguiente notación:

Cuando los niveles meta son establecidos, la función objetivo se convierte en:

$$GX \geq T$$

Entonces el modelo general queda de la siguiente forma:

$$\begin{array}{ll} \text{Optimizar} & GX \\ \\ \text{Sujeto a:} & AX \leq b \\ & GX \geq T \\ & X \geq 0 \end{array}$$

El problema involucra la selección del valor de las variables X . La selección es conducida por la optimización del equilibrio ponderado de los objetivos o a través del cumplimiento lexicográfico de diferentes metas establecidas.

3.3. Modelos aplicados en el área de salud

La eficiencia y la efectividad del servicio médico que proveen las unidades médicas están relacionadas estrechamente con la accesibilidad que tiene la población a dichas instalaciones, ésta es determinada por la ubicación geográfica de la población demandante en relación a las unidades médicas disponibles en el área y por las barreras físicas y topográficas, así como los medios de transporte existentes para alcanzar llegar a dichos destinos. (Tanser, Hosegood, Blezer, & Solarsh, 2001). En los últimos años, se han realizado muchos estudios acerca de la accesibilidad geográfica a los servicios de salud, la limitación del acceso físico a la atención primaria a la salud es el factor de mayor contribución a la carencia de buena salud en las naciones en desarrollo. (Tanser F. , 2002)

En Silva & Johnson (2006) se señala que los países en desarrollo enfrentan el problema de mejorar sus sistemas de salud, pero existe falta de recursos para lograrlo al cien por ciento. Es por esto que algunos países se enfrentan al dilema de priorizar el conflicto de igualdad de acceso a los servicios de salud. Con un presupuesto y personal médico limitado, los gobiernos locales deben decidir que iniciativas deben implementar primero. En este sentido la aplicación de modelos de localización-asignación tienen como objetivo evaluar los sistemas de salud para que se comporten de forma eficiente y efectiva, y a la vez sean equitativos.

En Ramírez & Bosque Sendra (2001) se realizó un modelo de localización-asignación óptima Minisum, también llamado P-mediano, con el objetivo de evaluar el grado de eficiencia espacial que presentaba la actual distribución de hospitales públicos de la provincia del Chaco (Argentina) mediante Sistemas de Información Geográfica raster y vectorial. La meta de estos modelos fue localizar 41 hospitales en la zona, con el fin de encontrar el conjunto de sitios óptimos que respondieran a la máxima eficiencia espacial para compararlos con las localizaciones existentes y así poder evaluar el sistema hospitalario de la zona.

Para la aplicación del modelo en formato raster se encontraron 34 coincidencias con la localización actual de los hospitales variando en 7 localidades la ubicación óptima. Por otro lado también se evaluó donde abrir nuevos sitios para aumentar la cobertura, considerando los ya existentes, para lo cual el modelo arrojó 3 sitios más a los ya existentes. En una primera instancia se emplearon distancias euclidianas, y para una segunda evaluación se emplearon distancias de Manhattan, los resultados coincidieron en un 97.5% en ambos modelos, solo hubo una variación en la ubicación de 1 punto de los 41 localizados. Para evaluar la mejora del modelo, se utilizó la distancia total recorrida, que es el producto del total de usuarios que requieren el servicio por la distancia que deben recorrer para hacer uso de los mismos, se encontró que para ambos instancias se disminuyó significativamente la

distancia total recorrida de la demanda en más de un 45%, la distancia media disminuyó en un 17% y la distancia máxima en un 26.5%.

Nuevamente se aplicó el modelo, pero ahora en formato vectorial con el empleo de otro software, se encontraron 33 localizaciones coincidentes con las localizaciones actuales, teniendo una concordancia del 80.5%. Al coparlo con el formato raster tanto en distancias euclidianas, como de Manhattan, se encontró una concordancia del 97.6% en la localización de los puntos óptimos. En este caso la distancia total recorrida disminuyó en un 46%, la distancia media disminuyó en un 32.4% y la distancia máxima en un 66.6%.

En conclusión se puede justificar la importancia y la ayuda que el manejo de los SIG y los modelos de localización-asignación óptima pueden aportar en la toma de decisiones que tiene que ver con la planificación o el ordenamiento de carácter territorial, que como meta debe perseguir mayor y mejor accesibilidad a los servicios por parte de la población.

En Ramírez & Bosque Sendra (2001) se mencionan también algunos principios a considerar en esta investigación, que deben prevalecer para la planificación y distribución de servicios públicos, entre ellos se tienen:

Eficiencia espacial: se refiere al volumen global de desplazamientos que el conjunto de la demanda debe efectuar para utilizar las instalaciones, tratar de medir el costo, en tiempos de recorrido o distancia que la población se verá obligada a transitar para poder utilizar los servicios.

Justicia o equidad espacial: se refiere a la accesibilidad diferencia de un servicio por parte de los distintos grupos de población, es decir al grado de igualdad en la distribución de los servicios que presta cada instalación a la población.

Efectividad: expresa la relación entre el impacto actual de un servicio y su impacto potencial en una situación ideal.

Gestión: hace referencia a la actuación inmediata y engloba cuestiones como magnitud de la demanda que atiende cada punto de servicio, el número de usuarios beneficiados, la disponibilidad de recursos existentes.

Posteriormente en Ramírez M. L. (2002) se continuó este trabajo para la localización óptima de los equipamientos sociales utilizando la tecnologías SIG y tomando en cuenta criterios de justicia socio-territorial para evitar que una distribución territorial injusta profundice las graves desigualdades sociales a las que se encuentra sometida la población. El concepto de justicia espacial, después de haber sido abordado teóricamente, fue trasladado al plano matemático y posteriormente ha pasado ser el cimiento para el planteamiento de diversos modelos de localización, cuya finalidad es encontrar, en un espacio determinado, los sitios óptimos para instalar equipamientos que respondan a esta problemática. Este artículo recomienda especialmente algunos modelos de localización óptima para la ubicación de hospitales de gestión pública: el modelo de cobertura máxima,

el modelo de cobertura máxima con restricción de la distancia, y por último el modelo Minisum con restricción de la distancia. De la aplicación de estos modelos en un caso práctico en la Provincia del Chaco, Argentina, como se mencionó anteriormente, se pueden mencionar dos facetas fundamentales. En primer lugar puede considerarse útil para la búsqueda de las localizaciones óptimas de cualquier tipo de equipamiento social, ya sea pública o privada; y en segundo lugar, puede desarrollarse con el propósito de fundamentar las reglamentaciones referidas a localización y distribución de todo tipo de establecimientos.

En el artículo Subhash, Narula, & Tien (1991) se presenta un modelo jerárquico de localización-asignación, en este tipo de modelos el objetivo es localizar k niveles diferentes de instalaciones entre n sitios potenciales y asignar la demanda para que un criterio sea optimizado. Existen varios ejemplos en la literatura para el área de atención médica, en los que se han manejado 3 niveles de servicio; el primero es referenciado a la atención de primer nivel, el segundo a hospitales y servicios especializados, donde estos también incluyen servicios de primer nivel, y el tercero referente a hospitales altamente especialidades, donde no se incluyen servicios del primer o segundo nivel.

En Rahman & Smith (2000) se hace un análisis sobre qué tan bueno es el empleo de modelos de localización-asignación para la planeación del desarrollo en el servicio médico de naciones en desarrollo, esta revisión examina la adecuación de estos métodos para el diseño de los sistemas de salud y su relación con los problemas generales de desarrollo en estos países. A pesar de que el uso de métodos matemáticos para el análisis de localización de instalaciones pueden ser muy sofisticados para la mayoría de los países en desarrollo, muchos estudios han demostrado su gran utilidad en el proceso de toma de decisiones para la localización de instalaciones.

En Alsalloum (2003) se realizó una extensión del modelo de localización de máxima cobertura aplicado a Saudi Arabian Red Crescent Society (SARCS), en la ciudad de Riyadh, Arabia Saudita. El propósito de este modelo fue localizar la ubicación óptima de un número específico de estaciones de servicio médico de emergencia. El primer objetivo fue localizar estas estaciones para maximizar la cobertura de la demanda esperada con un tiempo objetivo pre-especificado. Como segundo objetivo fue asegurar que cualquier demanda derivada, ubicada dentro del tiempo objetivo sea cubierta por al menos una ambulancia que esté disponible. Este problema se modela con programación por metas para optimizar las ubicaciones y entonces encontrar el mínimo de vehículos que cumplan dicho nivel de rendimiento.

En Buor (2003) se realiza un estudio se evalúa el impacto de la distancia en la utilización de servicios de salud en áreas rurales de países en desarrollo, y como se compara esta distancia con el tiempo de viaje y costo de transporte relacionados. Con la aplicación de encuestas formales cara a cara para una muestra aleatoria sistemática de 400 personas, se

encontró con el uso de un modelo de regresión y algunas técnicas gráficas que la distancia es el factor más importante de influencia en la utilización de servicios de salud en el distrito de Ahafo-Ano South en Ghana. La recomendación de este artículo se centró en reducir la distancia de cobertura, mejorar la educación formal y reducir la pobreza.

Otro ejemplo de aplicación se realizó en Silva & Johnson (2006) en donde se utilizan dos modelos jerárquicos de localización-asignación para dos tipos de unidades médicas públicas ubicadas en la Ciudad de Davao, Filipinas. Estos modelos evaluaron tres métricas de desempeño: costo de operación, distancia ponderada de viaje promedio y población cubierta. Para esto, se utilizaron dos modelos comunes para problemas de localización-asignación jerárquica. El primero es una variante del modelo de maximización de cobertura y el otro es una variante del modelo p-mediana. Un modelo jerárquico de cobertura promueve una visión sobre la proporción de la población que puede ser cubierta por estas instalaciones cuando están restringidas por un tiempo o distancia de viaje. En contraste, el modelo jerárquico mediano minimiza la distancia total ponderada o el tiempo en que la población debe viajar para llegar a determinada instalación. Estos dos modelos muestran la distancia promedio que una persona en el sistema debe viajar para alcanzar su instalación asignada.

En Murawski & Churchb (2009) se intenta atacar el problema de la accesibilidad desde otro enfoque; comúnmente los modelos de localización-asignación han sido usados para prescribir las configuraciones óptimas de las instalaciones de salud para maximizar la accesibilidad, pero estos modelos están basados en el supuesto de que la red de transporte subyacente es estática y siempre está disponible. En este modelo la localización de las instalaciones es fija y se trata de mejorar la accesibilidad a la atención médica mediante la modernización de los enlaces de la red de transporte carretero para todas las estaciones del año, este modelo es llamado Maximal Covering Network Improvement Problema (MC-NIP) y es formulado como un problema de programación lineal entera, el cual muestra que incluso un modesto nivel de mejora de las carreteras puede dar lugar a aumentos sustanciales en el acceso al servicio de salud en todas las estaciones del año.

3.4. Aplicación en México

De igual forma en Hernández-Ávila, y otros (2010) para México, se propuso un modelo geoespacial para la regionalización operativa de los centros de salud, este modelo tiene como objetivo estimar el área potencial de influencia alrededor de cada unidad de atención médica, con base en el menor tiempo de viaje. Se aplicó para Oaxaca en el año 2005 y 2007 y sus resultados se compararon con el Estudio de Regionalización Operativo (ERO) 2005, encontrándose que el ERO asignó 48% de las localidades a centros de salud más lejanos y 23% de los centros de salud a hospitales más lejanos, el estudio generó una regionalización

más eficiente. Como base para la regionalización operativa automatizada, se construyó un SIG con cobertura nacional e información del sistema de salud en México de los años 2005 y 2007. Los SIG permiten organizar la información en capas en las que los objetos cartográficos representan la ubicación geográfica de los elementos que contienen y están ligados con información tabular almacenada en bases de datos. A partir del SIG se generó un modelo geoespacial para calcular el tiempo de viaje necesario para acceder a servicios de salud, desde cada localidad del país hasta la unidad médica más cercana. El modelo dio como resultado una propuesta de regionalización que minimiza el tiempo de viaje para acceder a los servicios de salud.

Este modelo geoespacial incorpora la velocidad promedio a la cual se puede transitar por la red carretera y los caminos rurales, así como también por áreas que carecen de infraestructura carretera. En el modelo también se incluyó el relieve y la pendiente del terreno, así como la presencia de cuerpos de agua y otras barreras físicas, para la generación automatizada de un índice de accesibilidad basado en tiempos de viaje. Si bien este modelo no pertenece a los modelos de optimización revisados en esta investigación, se muestra como una investigación aplicada en México sobre el tema, logrando tal aceptación que este modelo se adoptó por la Dirección General de Planeación y Desarrollo en Salud para la instrumentación del Plan Maestro Sectorial de Recursos para la Atención de la Salud.

En la Lara & Morales (1998) se realizó un investigación para determinar el grado de cobertura y accesibilidad de servicios de salud de la población que habita en los municipio externo al Área Metropolitana de Monterrey aplicando los principios que marca el Modelo de Atención a la Salud para la Población Abierta (MASPA), se diseñó una metodología que se aplica por medio de un estudio de corte transversal y descriptivo para analizar el grado de cobertura y accesibilidad. Los resultados de este estudio se encontró que la capacidad potencial de atención de los recursos humanos existentes variaba entre 67% y el 91%, cuando el propuestos por la Organización Panamericana de la Salud (OPS) como mínimo aceptable era del 95%.

En Hernández-Ávila, y otros (2002) se desarrolló un Sistema de Información Geográfico (SIG) para determinar la cobertura geográfica del SMS y analizar la utilización en 1998 de los hospitales de la Secretaria de Salud, encontrándose que 10 806 localidades con 72 millones de habitantes contaban con al menos una unidad de atención de salud del sector público y 97.2% de la población se encontraba a menos de 50 km de una, pero más de 18 millones de personas vivían en localidades rurales sin atención. En cuanto a ocupación promedio existían 48.5 ± 28.5 por cada 100 camas/año, con gran variabilidad intra e interestatal. Las conclusiones arrojan que la utilización del SIG eleva la capacidad analítica y proporciona estimadores más realistas de la cobertura y utilización de hospitales del sector. Este modelo representa un beneficio para la planeación estratégica en el sector salud, así como la investigación científica en salud pública, brindando oportunamente

información necesaria, con el nivel de resolución geográfica adecuado para su análisis temporal-espacial, en diferentes escalas administrativas, regionales y locales.

3.5. Resumen de revisión de la literatura

En la siguiente tabla se muestra un resumen de las investigaciones recientes sobre modelos de localización-asignación existentes y su aplicación en el sector salud.

Tabla 4 Revisión de la literatura

Autor	Título
<i>Modelos teóricos de localización-asignación</i>	
Daskin, M. S. (1995)	Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications.
Drezner, Z. (1995)	Facility Location: A Survey of Applications and Methods.
Drezner, Z., & Hamacher, H. W. (2002)	Facility Location: Theory and Algorithms.
Marianov & Serra (2005)	Location problems in the public sector.
McCarl & Spreen (2011)	Applied Mathematical Programming Using Algebraic Systems.
Rahman, S., & Smith, D. K. (2000)	Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations.
Revelle & Swain (1970)	Central facilities location.
Subhash, Narula, & Tien (1991)	A Generalized Approach to Modeling the Hierarchical Location-Allocation Problem.
Zanjirani Farahani, R., & Hekmatfar, M. (2009)	Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies.
<i>Aplicación de modelos teóricos de localización-asignación</i>	
Alsalloum (2003)	A goal-programming model applied to the EMS system at Riyadh City, Saudi Arabia.
Buor (2003)	Analysing the primacy of distance in the utilization of health services in the Ahafo-Ano South district, Ghana.
Murawski & Churchb (2009)	Improving accessibility to rural health services: The maximal covering network improvement problem.
Ramírez & Bosque Sendra (2001)	Localización de hospitales: Analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial.
Ramírez M. L. (2002)	¿Dónde localizar hospitales públicos? Las nuevas tecnologías – SIG- Como herramientas de apoyo a la planificación territorial. Un caso de estudio aplicado a la provincia de Chaco- Argentina.

Silva & Johnson (2006)	The Davo City Health System: An Approach to Optimally Locating Community Health Facilities.
Tanser, Hosegood, Blezer, & Solarsh (2001)	New Approaches to Spatially Analyse Primary Health Care Usage Patterns in South Africa.
Tanser F. (2002)	The Application of GIS Technology to equitably distribute fieldworker workload in a large rural South African helth survey.
<i>Aplicación en México</i>	
Hernández-Ávila, y otros (2010)	Modelo geoespacial automatizado para la regionalización operativa en planeación de redes de servicios de salud.
Lara & Morales (1998)	Metodología para la evaluación de la cobertura de servicios de salud en los municipios externos al área metropolitana de Monterrey.
Hernández-Ávila, y otros (2002)	Cobertura geográfica del sistema mexicano de salud y análisis espacial de la utilización de hospitales generales de la Secretaría de Salud en 1998.

CAPÍTULO 4. MODELOS PROPUESTOS

En el capítulo anterior se establecieron las bases para el diseño del modelo, se realizó un análisis sobre el sistema de salud en México y una revisión de la literatura sobre modelos de localización-asignación que sirvieran como marco de referencia para el diseño del modelo.

Como se mencionó, el SMS está dividido en tres grandes componentes: las instituciones privadas, las instituciones de protección social y por último las instituciones que dan servicio a la población sin seguro. Este último componente es el que requiere mayor atención debido a que es el que se encuentra más desprotegido y le da cobertura médica a toda la población que no cuenta con seguro social, ni tiene los recursos económicos para atenderse en el sector privado.

La Secretaria de Salud es la encargada de ofrecer este servicio, se mostró en el capítulo anterior los diferentes tipos de instalaciones con las que se cuenta, así como los servicios prestados y su capacidad de atención.

La consulta externa corresponde al servicio de atención básica con el que cuentan todas las unidades médicas, en muchas zonas rurales es el único servicio que se ofrece, es por esto que el modelo considerará la demanda de consulta externa como parámetro principal de evaluación del modelo.

El detalle geográfico que abarca el modelo contempla el rubro de localidades o comunidades en las que esta dividido un municipio, esta información es proporcionada por el Sistema de Integración Territorial (ITER) y solo es recomendable utilizar esta división geográfica en zona rurales debido a que en municipios urbanizados se requiere un mayor nivel de detalle debido a la alta densidad de la población. Se toma como base las coordenadas proporcionadas por el ITER, que corresponden al punto centroide de cada localidad, y para la medición de las distancias se toma como base la distancia euclidiana entre las localidad, sin incluir barreras geográficas, esto debido a la complejidad que involucra. Cabe mencionar que el Instituto Nacional de Salud Publica (INSP) ha estado trabajando en los últimos años, en crear una base de datos con el tiempo de viaje de una localidad a otra, esta información nos arrojaría un resultado más preciso, ya que el tiempo de viaje esta evaluada con base a información geográfica de cada región y las vías de comunicación existentes.

4.1. Diseño del modelo

El problema a modelar debe contemplar las siguientes características:

- Existen diferentes tipos de instalaciones que atienden la misma demanda, pero con diferente capacidad.
- Si la capacidad global de servicio es insuficiente, se debe establecer el mismo nivel de cobertura en todos los nodos de demanda, para que la capacidad existente se reparta de forma equitativa.
- Se debe evitar que exista capacidad de servicio ociosa en las instalaciones abiertas.
- Existe un costo fijo para la apertura de nuevas instalaciones.
- La asignación de un nodo de demanda a un nodo de servicio estará limitada por una distancia máxima de cobertura.

Se tomará como base el modelo de la *P-mediana* propuesto por Revelle & Swain (1970) descrito en el capítulo anterior, como se mencionó, este tipo de problemas tienen como objetivo encontrar la localización de P instalaciones en una red, de tal modo que el costo pueda ser un *minisum*. El costo a minimizar en la función objetivo estará basado en la multiplicación de la distancia entre el nodo i y el nodo j que proveerá el servicio y el volumen de demanda en el nodo i . Es conveniente usar este tipo de modelos debido a su simplicidad, aunque el modelo más sencillo de este tipo no considera las características del problema a resolver, por lo que se requerirán hacer algunos cambios y la adición de nuevas restricciones para su adaptación a la problemática a atacar.

En una primera instancia se desea utilizar el modelo para encontrar una mejor asignación de la demanda a los nodos de servicio existentes. Este modelo no contemplará la apertura de nuevas instalaciones y estará limitado a la capacidad de las instalaciones existentes.

El problema de la *P-mediana* parte de la función objetivo $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_i d_{ij} y_{ij}$, esta función objetivo multiplica la distancia entre el nodo i y j por el total de la demanda en el nodo i . Para los modelos de esta investigación se utilizará dos diferentes tipos de variables, la primera variable y_{ij} es binaria e indica si se asigna el servicio del nodo j al nodo i , una segunda nueva variable x_{ij} reemplazará al parámetro de la demanda a_i que indica el total de la demanda en el nodo i , esta variable es entera y se utilizará para determinar la cantidad de demanda asignada al servicio establecido en el nodo j , esto se debe a que la capacidad de servicio total en el sistema es insuficiente para atender a toda la demanda, por lo que solo una parte de esta podrá ser cubierta, de tal modo que la función objetivo quedará como $\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}$. El problema se vuelve más complejo ya que pasa de ser un problema de programación lineal a un problema de programación entera mixta.

Una característica importante del problema a modelar, es la existencia de diferentes tipos de instalaciones que atienden a la misma demanda pero con diferente capacidad, debido a esto,

se requerirá un nuevo sub-índice que permita identificar el tipo de instalación utilizada. De este modo la variable binaria y_{ij} , quedara expresada como y_{ijk} , que tendrá valor de 1, si el nodo de demanda i es asignado al nodo de servicio j donde se encuentra una instalación de tipo k ; mientras que la variable entera x_{ijk} , se interpretara como la cantidad de demanda del nodo i asignada al nodo de servicio j donde se encuentra una instalación de tipo k . Con este cambio la nueva función objetivo quedará expresada de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Todos los nodos demanda deberán ser asignados únicamente a un nodo de servicio que tendrá únicamente una instalación disponible, para que se cumpla esta condición, se utilizará la primera restricción del modelo *P-mediana*, quedando expresada de la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (2)$$

La segunda restricción del modelo *P-mediana* se deberá incluir en el modelo para obligar a que únicamente se puedan asignar los nodos de demanda a los nodos de servicio que se hayan abierto, al incluir el nuevo subíndice, quedará expresada de la siguiente forma:

$$y_{ijk} \leq y_{jjk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (3)$$

La tercera restricción del modelo *P-mediana*, se utilizará para indicar que puntos de servicio deberán ser abiertos, y esto corresponderá a las unidades médicas existentes en cada municipio, incluyendo el sub-índice k , quedará expresada de la siguiente forma:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{jjk} = P \quad (4)$$

Para indicar en que ubicaciones se deberán abrir las instalaciones, e incluso identificar el tipo de instalación, se deberán forzar las variables binarias a tener el valor de uno, quedando expresada la restricción de la siguiente forma:

$$y_{jjk} = 1 \quad \forall j \in P \quad (5)$$

Donde $\forall j \in P$ se refiere a los nodos j que pertenecen a los puntos donde existe una instalación abierta.

Se requiere una restricción que asocie a las dos variables del modelo, de tal modo que si una se activa, la otra de igual modo se active. Para esto se utilizarán dos restricciones que

establezcan un nivel mínimo y máximo de asignación de demanda en cada nodo, quedando las restricciones de la siguiente forma:

$$x_{ijk} \geq (\beta)a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (6)$$

$$x_{ijk} \leq a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (7)$$

En la primera restricción, si y_{ijk} tiene valor de 1, entonces el valor de x_{ijk} deberá ser superior al porcentaje de la demanda de ese nodo que sea definido por β . La segunda restricción servirá para impedir que la demanda asignada en el nodo i sea mayor a la demanda total de ese nodo.

Como la capacidad de las instalaciones es limitada, también se debe crear una nueva restricción que impida asignar más demanda de la permitida, esta restricción quedará de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq C_k \quad \forall j, \forall k \quad (8)$$

Donde la suma de la demanda de todos los nodos enviados al nodo de servicio j no deberá exceder la capacidad de la instalación tipo k existente en ese nodo.

Se requiere también, de una restricción que impida asignar un nodo de demanda a un nodo de servicio, si éste se encuentra a una distancia muy lejana, para esto, se utilizará el parámetro s_k , el cual servirá para determinar la distancia máxima a la cual se puede realizar la asignación, ésta varía dependiendo el tipo de instalación, debido a que las instalaciones de mayor capacidad pueden tener un mayor alcance en distancia, quedando la restricción de la siguiente forma:

$$d_{ij} y_{ijk} \leq s_k \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (9)$$

Otra característica de este modelo, es que la falta de capacidad de servicio en el sistema para atender toda la demanda, conlleva a que solo se pueda cubrir un determinado nivel o porcentaje de demanda en cada nodo, este nivel deber ser el mismo o muy cercano en todos los nodos de demanda para que exista una justicia en cuanto la repartición de los recursos disponibles, por lo que se requiere establecer una restricción en la cual se indique esta característica, quedando esta restricción de la siguiente forma:

$$\alpha \leq \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{x_{ijk}}{a_i} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{x_{ljk}}{a_l} \leq \alpha \quad \forall i, \forall l \quad l \in M, \quad i \neq l \quad (10)$$

En esta restricción se establece cierta tolerancia definida por α , que permitirá una pequeña variación en cuanto el nivel de demanda asignada con respecto al total de demanda de cada nodo. En esta restricción se hace una comparación a pares de esta relación entre demanda

asignada y demanda total de cada nodo, de tal forma que la variación de cada par no debe exceder en el porcentaje de variación establecido.

Con este nuevo rediseño del modelo, se permite que el modelo establezca la cantidad de demanda asignada en cada nodo, se observa que la función objetivo es la relación directa de la distancia que existe entre el nodo de demanda y el nodo de servicio, multiplicada por la cantidad de demanda asignada en dicho nodo. Como la función objetivo es de minimización, el modelo tiende a darle el valor mínimo a las variables x_{ijk} para reducir la distancia total dentro de el límite de las restricciones existentes, en este caso este valor esta acotado por la restricción (6) que establece el nivel mínimo de demanda asignada en cada nodo. Este problema se puede corregir creando una penalización en la función objetivo que permita asignar la mayor cantidad posible de demanda en el sistema de acuerdo a la capacidad existente en los nodos de servicio.

Se creará un nuevo objetivo el cual minimizará la capacidad no utilizada de las instalaciones abiertas, con esto se obligará a que se asigne la mayor cantidad de demanda de cada nodo a los diferentes nodos de servicio, hasta ocupar toda la capacidad de servicio disponible. Ahora el modelo cuenta con dos funciones objetivo, una que minimiza la distancia y otra que penaliza la capacidad no utilizada, por lo que se transformará el modelo en un modelo de programación por metas.

En la programación por metas, las funciones objetivos se convierten a restricciones, quedando la minimización de distancia de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} + n_1 - p_1 = Z \quad (11)$$

Donde n_1 representa una variable de holgura con respecto a la meta Z , que representa la distancia total objetivo a la que se pretende llegar, en caso de que al correr el modelo no se pudiera alcanzar este valor, la variable p_1 tendrá un valor que significara la distancia faltante para alcanzar dicha meta.

De igual forma se crea una restricción para la función objetivo que penaliza la capacidad no utilizada, quedando de la siguiente forma:

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} - C_k y_{jk} + n_{2jk} - p_{2jk} = 0 \quad \forall j, \forall k \quad (12)$$

En esta restricción también se utilizan las variables de holgura y faltante, pero en este caso existirán tantas variables como nodos de servicio candidatos y tipos de instalaciones existen, en este caso se quiere maximizar la cantidad de demanda asignada a una instalación abierta, por lo que el la meta establecida será utilizar toda la capacidad de servicio de la instalación abierta, donde n_{2jk} corresponde a la cantidad de demanda faltante

para utilizar toda la capacidad existente y p_{2jk} corresponde a la holgura con respecto a la capacidad utilizada, que en este caso siempre será cero ya que no se puede exceder el cien por ciento de la capacidad, a menos que la meta sea cubrir la capacidad en un porcentaje y no en su totalidad.

Una vez definidas las dos restricciones relacionadas con las funciones objetivo, se deberá crear una nueva función objetivo global donde se integre la minimización de la distancia y la utilización de la capacidad de las unidades abiertas, quedando de la siguiente forma:

$$W_1 \left(\frac{p_1}{Z} \right) + \frac{W_2}{P} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{n_{2jk}}{C_k} \right) \quad (13)$$

En esta función objetivo se busca minimizar las nuevas variables que indican los faltantes para cumplir las dos metas establecidas, en este caso, se minimizará p_1 que representa el faltante para cumplir la meta de distancia y n_{2jk} que representa el faltante para utilizar el cien por ciento de la capacidad de las instalaciones abiertas. En la programación por metas se debe estandarizar la función objetivo, donde ambas variables deberán estar expresadas en las mismas unidades, por tal motivo, p_1 se divide entre Z y de esta manera esta expresión representa el porcentaje de distancia faltante con respecto a la meta; y por otro lado la variable n_{2jk} se divide entre la capacidad de la instalación, representando el porcentaje de capacidad no utilizada con respecto a la capacidad total. A esta última expresión se le dividirá entre el número de instalaciones abiertas, expresado por P , esto para que las dos funciones objetivos tengan el mismo peso. Por último, se establece una ponderación para cada objetivo, W_1 y W_2 , a los cuales se les asignará un valor para determinar la importancia de las funciones objetivos con respecto a la otra.

La forma más sencilla de abordar esta tarea de asignarle un valor a cada objetivo, consiste en pedir al decisor que clasifique los criterios por orden de importancia. Es decir, si tenemos n criterios, se solicita al decisor que asigne el número 1 al criterio que considere más importante, el número 2 al criterio siguiente en importancia, así hasta asignar el número n al criterio que considere menos importante. Los pesos compatibles con dicha información se obtendrán a partir de la siguiente expresión:

$$W_j = \frac{1/r_j}{\sum_{i=1}^n 1/r_j} \quad (14)$$

Donde r_j es la posición que ocupa el criterio j -ésimo en la clasificación establecida por el decisor.

Por último se establecen las restricciones que indican que la variable y_{ijk} es binaria y que la variable x_{ijk} es una variable entera positiva, quedando de la siguiente forma:

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (15)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \text{ entera} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (16)$$

De esta forma se termina el diseño del modelo que se utilizará para evaluar la localización y asignación actual de las instalaciones. En una segunda instancia se utilizar el modelo para definir en que otros nodos es necesario abrir nuevos puntos de servicio, adicionales a los existentes, para cubrir toda la demanda.

Este nuevo modelo incluirá una función objetivo que penalice la apertura de nuevas instalaciones, esta estará relacionada con un costo fijo por abrir cada nueva instalación. La restricción queda de la siguiente forma:

$$\sum_{k=1}^l q_k \sum_{j=1}^n y_{jjk} + n_3 - p_3 = \sum_{k=1}^l q_k p_k \quad (17)$$

Donde q_k representa el costo por abrir la instalación tipo k , y p_k indica el número de instalaciones existentes del tipo k . En esta restricción se define la meta como el costo actual fijo por abrir las instalaciones ya existentes, es decir, lo ideal sería que no se abrieran nuevas instalaciones, pero si la capacidad actual no es suficiente se requerirá de costos adicionales, en este sentido se pretende minimizar el costo total de apertura, donde p_3 corresponde al costo excedente con respecto a la meta establecida y n_3 a la holgura con respecto a la meta, que en este caso siempre tendrá valor de cero.

Este nuevo objetivo deberá ser integrado a la función objetivo formulada quedando de la siguiente forma:

$$W_1 \left(\frac{p_1}{Z} \right) + \frac{W_2}{U} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{n_{2jk}}{C_k} \right) + \frac{W_3}{U} \left(\frac{p_3}{\sum_{k=1}^l q_k (p_k)} \right) \quad (18)$$

A la función objetivo anterior se le agregará el valor de p_3 para penalizar la apertura de instalaciones, para estandarizar este valor se deberá dividir entre el costo total de apertura de las instalaciones ya existentes, de tal forma que represente el porcentaje de costo adicional con respecto al costo original. Al igual que la segunda expresión se tendrá que dividir este valor entre un número de instalaciones U , a este valor se le asignará el número de instalaciones recomendadas en todo el sistema.

Un problema particular a considerar, es que las instalaciones también se encuentran segmentadas de acuerdo al tipo de localidad, existen dos tipos de instalaciones, unas para las localidades rurales y otras para las urbanas. Ambas tienen las mismas características, la única diferencia en el modelo será el área de cobertura, ya que en las zonas urbanas la población se encuentra más concentrada por lo que el parámetro S_k será diferente para las instalaciones urbanas y para las rurales. Para evitar crear un nuevo sub-índice y hacer más

complejo el modelo se incluirá una restricción que impida asignar nodos de demanda urbanos a instalaciones de tipo rurales y viceversa, quedando de la siguiente forma:

$$\sum_{k=1}^l t_{jk} \sum_{i=1}^m x_{ijk} = 0 \quad \forall j \quad (19)$$

Donde t_{jk} es una matriz binaria, donde se tendrá un valor de 1 si el nodo de demanda j no se puede asignar a la instalación tipo k por ser una rural y el otro urbano, y tendrá valor de 0 si se puede asignar este nodo a este tipo de instalación. De este modo, al multiplicar esta matriz por la variable x_{ijk} , la suma de estas variables será igual a cero cuando no se pueda realizar esta asignación de un nodo de servicio j a una instalación de tipo k .

Por último para este segundo modelo se eliminará la restricción (4) ya que se podrán abrir tantas instalaciones como se requieran para satisfacer la demanda y en la restricción (6), el valor de β será un valor muy cercano a 1, que establezca el mínimo de población asignada en cada nodo de demanda. Se podría reemplazar la restricciones (6) y (7) por una donde la cantidad de demanda asignada sea igual a la demanda total en cada nodo, pero conviene dejar cierta tolerancia para encontrar una mejor asignación, al hacer menos rígido el modelo.

4.2. Supuestos

A continuación se describen los supuestos que se utilizaron para los modelos:

- La demanda es determinística, no se considera el crecimiento poblacional.
- El espacio de soluciones es continuo.
- Únicamente se puede instalar una unidad médica por cada localidad, este supuesto aplica bien para los municipios rurales debido a que el tamaño de población de las localidades es reducido, pero para municipios urbanizados se requiere definir una zonificación más detallada que evalúe no solo localidades, si no colonias por ejemplo.
- El sistema es cerrado, no será contemplada la influencia de unidades médicas del mismo tipo ubicada en municipios colindantes, esto debido a que la regionalización operativa de la demanda esta basada en la zonificación por municipios.
- Para la medición de la distancia se tomara como referencia el punto centroide de cada localidad aunque la ubicación de las unidades médicas no sea la exacta, se considera una buena aproximación.
- No se considera información sobre redes viales y accesibilidad geográfica, únicamente se evalúa la distancia euclidiana entre los puntos.

- El costo de instalación de las unidades médicas será el mismo independientemente de su ubicación.

El modelo será aplicado con base a estos supuestos, en gran medida los resultados obtenidos estarán basados en cada uno de los supuestos, se considera como crítico la medición de la distancia euclidiana a partir de los centroides de las localidades, si bien estos parámetros son aproximaciones utilizadas para estimar la accesibilidad de la población para recibir atención médica, reflejan en gran medida el comportamiento real de la problemática existente.

4.3. Índices y Parámetros

A continuación se muestran los modelos propuestos de localización-asignación, el modelo A corresponde únicamente a la asignación de las localidades a las unidades médicas existentes; el modelo B evalúa la ampliación y/o localización de unidades médicas para cubrir la demanda total.

Para la formulación de los modelos se utilizarán los siguientes índices, las localidades o puntos de demanda existentes son representadas por i (1, 2, ..., m), las localidades candidatas para ubicar una unidad médica están representadas por j (1, 2, ..., n) y los tipos de unidades médicas a evaluar están representados por k (1, 2, ..., l)

Los parámetros contemplados en el modelo son los siguientes:

Tabla 5 Parámetros para los modelos

Parámetro	Descripción	Modelo
d_{ij}	Distancia que existe entre el nodo de demanda i y el nodo candidato para ubicar una unidad médica j	A, B
a_i	Demanda del servicio médico en el nodo i	A, B
p_k	Cantidad de instalaciones tipo k que se van a abrir	A, B
q_k	Costo por abrir la instalación tipo k	B
c_k	Capacidad de atención de la unidad médica tipo k	A, B
s_k	Distancia máxima de cobertura para la instalación tipo k	A, B

t_{jk}	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Con valor de 1, si la instalación tipo k no puede ser instalada en la localidad j ➤ Con valor de 0, en otro caso 	B
α	Factor que determina el porcentaje variación permitido del nivel de demanda asignado entre cada par de nodos	A, B
β	Factor que determina el nivel de demanda asignado mínimo que deber ser cubierto en cada uno de los nodos de demanda i	A, B
Z	Distancia meta para la función objetivo de minimización de distancia total recorrida	A, B
P	Total de instalaciones a abrir	A
U	Número de unidades recomendadas para abrirse	B

4.4. Variables

Las variables de decisión para el modelo son las siguientes:

Tabla 6 Variables de los modelos

Variable	Descripción	Modelo
y_{ijk}	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Con valor de 1, si se asigna el nodo i a la instalación tipo k, ubicada en el nodo j. ➤ Con valor de 0, en otro caso. 	A, B
x_{ijk}	Cantidad de demanda del nodo i asignada a la instalación tipo k ubicada en el nodo j .	A, B
n_1	Holgura en la distancia total recorrida de acuerdo a la meta establecida	A, B
p_1	Distancia faltante para cumplir la meta establecida de distancia total recorrida	A, B
n_{2jk}	Capacidad de la instalación tipo k ubicada en el nodo j , que no fue asignada	A, B
p_{2jk}	Holgura en la capacidad asignada de la instalación tipo k ubicada en el nodo j	A, B
n_3	Holgura en el costo total de apertura de las instalaciones abiertas de acuerdo al costo meta establecido	B
p_3	Costo total adicional de apertura requerido con respecto al costo meta establecido	B

4.5. Modelo A. Modelo de localización-asignación para evaluar la asignación de localidades a las unidades médicas existentes

Este modelo se utilizara para evaluar la asignación de las localidades a las unidades médicas existentes en los municipios de estudio.

Minimizar

$$W_1 \left(\frac{p_1}{Z} \right) + \frac{W_2}{P} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{n_{2jk}}{C_k} \right) \quad (\text{A.1})$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} + n_1 - p_1 = Z \quad (\text{A.2})$$

$$\alpha \leq \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{x_{ijk}}{a_i} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{x_{tjk}}{a_t} \leq \alpha \quad \forall i, \forall t \quad (\text{A.3})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} - C_k y_{jjk} + n_{2jk} - p_{2jk} = 0 \quad \forall j, \forall k \quad (\text{A.4})$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (\text{A.5})$$

$$y_{ijk} \leq y_{jjk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.6})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq C_k \quad \forall j, \forall k \quad (\text{A.7})$$

$$x_{ijk} \leq a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.8})$$

$$x_{ijk} \geq (\beta) a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.9})$$

$$d_{ij} y_{ijk} \leq s_k \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.10})$$

$$y_{jjk} = 1 \quad \forall j \in P \quad (\text{A.11})$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{jjk} = P \quad (\text{A.12})$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

$$x_{ijk} \geq 0, \text{entero} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

La función objetivo (A.1) tiene dos metas, la primera minimiza la distancia total recorrida por la población asignada de acuerdo a la meta establecida “Z”, obtenida del [modelo Z versión 1](#) (Ver Anexo 2), y la segunda maximiza la relación de la población asignada a una instalación con respecto a la capacidad total de dicha instalación, esta meta aplica para todas las instalaciones que sean abiertas. Como se utilizará la programación por metas ponderadas, estas metas tendrán una ponderación que será evaluada con los pesos W_1 y W_2 . La variable p_1 esta asociado a la restricción (A.2), esta variable representa la distancia faltante para cumplir la meta deseada; mientras que las variables n_{2jk} representan la capacidad ociosa de las instalaciones abiertas, y está asociada a la restricción (A.4).

La restricción (A.2) determina la meta de la distancia total recorrida de toda la población, donde se suma la multiplicación de la población de la localidad i asignada a la instalación tipo k ubicada en j y la distancia que existe entre estos puntos, esta sumatoria debe ser igual a la meta Z , y las variables n_i y p_i sirven para determinar el faltante o el sobrante para alcanzar esta meta.

La restricción (A.3), sirve para controlar la variación en cuanto al porcentaje de población asignada con respecto a la población total en cada localidad, la variación que exista entre cada par de localidades en cuanto a este porcentaje no debe exceder un valor fijado que será representado por α , este puede ser un valor por ejemplo de 0.05.

La restricción (A.4) controla la capacidad utilizada, igualando a cero la suma de la población asignada a una determinada unidad médica y la capacidad de dicha unidad, esta restricción se aplicará para cada localidad j y para cada tipo de instalación k . Las variables n_{2jk} y p_{2jk} representan la holgura o el faltante para alcanzar la meta establecida, en este caso no se puede rebasar la capacidad total por lo que la variable p_{2jk} siempre tendrá valor de cero.

La restricción (A.5) sirve para garantizar que todas las localidades serán asignadas únicamente a una sola unidad médica. Junto con esta restricción se aplica la (A.6) que garantiza que no se pueda asignar una localidad a una unidad médica si esta no ha sido abierta, por ejemplo, supongamos que se asignará la localidad $i=3$ a la unidad médica tipo $k=2$ ubicada en $j=1$, la variable binaria y_{312} tendrá valor de 1, para que suceda esto será necesario que también se abra una unidad médica $k=2$ en la localidad $i=j=1$, por lo tanto y_{112} será igual 1, de este modo se estaría cumpliendo esta restricción.

La restricción (A.7) se utiliza para que la suma de la población asignada a una unidad médica no exceda la capacidad de ésta.

La restricción (A.8) se utiliza indicar el valor máximo a población a asignar en cada localidad, mientras que la restricción (A.9) determina el nivel mínimo de población a asignar en cada localidad, esta deberá ser superior a β en cada localidad.

La restricción (A.10) tiene como finalidad impedir que una localidad se asigne a una unidad médica que se encuentra a una distancia superior a s_k .

La restricción (A.11) se utiliza para abrir únicamente las unidades de salud en las localidades donde se especifique, así como el tipo de instalación.

Por último la restricción (A.12) sirve para establecer el número total de unidades a abrir, de este modo se impide abrir más unidades a las indicadas.

Por último es necesario definir a la variable y_{ijk} como binaria, y a x_{ijk} como entera positiva.

Con este modelo se podrá realizar un análisis para mejorar la asignación actual de las diferentes localidades de un municipio a las unidades médicas existentes, tratando de minimizar la distancia total recorrida, con una asignación más equitativa de acuerdo a la capacidad de cada unidad médica y evitando que exista capacidad ociosa.

El modelo completo también puede ser consultado en el [Anexo 2 – Modelo A](#).

4.6. Modelo B. Modelo de localización-asignación para evaluar la asignación de localidades a las unidades médicas existentes con opción de ampliar o abrir nuevas unidades médicas para satisfacer toda la demanda

Este modelo se utilizará para evaluar la asignación actual en un municipio con la posibilidad de abrir nuevas unidades médicas para satisfacer la demanda existente.

Minimizar

$$W_1 \left(\frac{p_1}{Z} \right) + \frac{W_2}{U} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{n_{2jk}}{C_k} \right) + \frac{W_3}{U} \left(\frac{p_3}{\sum_{k=1}^l q_k p_k} \right) \quad (\text{B.1})$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} + n_1 - p_1 = Z \quad (\text{B.2})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} - C_k y_{jjk} + n_{2jk} - p_{2jk} = 0 \quad \forall j, \forall k \quad (\text{B.3})$$

$$\sum_{k=1}^l q_k \sum_{j=1}^n y_{jjk} + n_3 - p_3 = \sum_{k=1}^l q_k p_k \quad (\text{B.4})$$

$$\sum_{k=1}^l t_{jk} \sum_{i=1}^m x_{ijk} = 0 \quad \forall j \quad (\text{B.5})$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (\text{B.6})$$

$$y_{ijk} \leq y_{jjk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.7})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq C_k \quad \forall j, \forall k \quad (\text{B.8})$$

$$x_{ijk} \leq a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.9})$$

$$x_{ijk} \geq (\beta) a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.10})$$

$$d_{ij} y_{ijk} \leq s_k \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.11})$$

$$\sum_{k=1}^l y_{jjk} = 1 \quad \forall j \in P \quad (\text{B.12})$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

$$x_{ijk} \geq 0, \text{entero} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

Este modelo en principio es muy similar al Modelo A, salvo algunas variaciones en la formulación.

En la función objetivo (B.1) se mantiene la expresión para minimizar la distancia total recorrida de la población asignada de acuerdo a la meta establecida “Z”, obtenida del [modelo Z versión 2](#) (Ver Anexo 2); y la maximización de la capacidad utilizada de las unidades que sean abiertas, se agrega una nueva expresión que servirá para penalizar o minimizar el número de unidades abiertas a partir de las ya existentes, utilizando la variable p_3 .

La restricción (B.2) es igual a la restricción (A.2), mientras que la (B.3) es similar a la (A.5). La restricción (B.5) se emplea debido a que en el esquema de la Secretaria de Salud se debe existir una separación en cuanto a las unidades urbanas y rurales, para efectos del modelo, no habrá distinción de estas unidades en cuanto a capacidad pero si en cuanto alcance de cobertura, es por esto que esta restricción evita que se asignen unidades rurales a unidades urbanas y viceversa, haciendo que la suma de todas estas variables en el modelo sea igual a cero.

Las restricciones de la (B.6), (B.7), (B.8), (B.9), (B.10) y (B.11) se mantienen igual a las del modelo A, por lo que se omitirá su explicación.

Se agrega una nueva restricción a este modelo (B.12), la cual tiene la finalidad de establecer un porcentaje de población mínima que debe ser asignada en cada localidad, este porcentaje debe estar cercano al valor 1, con esto se pretende dar una tolerancia al modelo para encontrar una mejor distancia de recorrido sin que se asigne toda la población.

El modelo completo también puede ser consultado en el [Anexo 2 – Modelo B](#).

4.7. Modelo Z. Modelo utilizado para obtener una distancia total inicial como referencia para los modelos A y B.

Este modelo se utiliza para establecer la distancia meta correspondiente a la distancia total recorrida por la población, que se utilizará en el modelo A y B, este modelo minimiza esta distancia bajo las restricciones de capacidad, de alcance de cobertura y nivel de asignación por localidad. Se utilizarán el mismo modelo con la modificación de unas restricciones para cada caso. Para el modelo A se utilizará el [modelo Z versión 1](#), que se encuentra en el Anexo 2, este modelo contará con una restricción que indique los nodos donde se deberán abrirse las instalaciones, así como el tipo de instalación (Z.1.8) y otra restricción que indique el número total de instalaciones que se deberán abrir (Z.1.9). Para el modelo B se utilizará el [modelo Z versión 2](#), encontrado también en el Anexo 2, este modelo sustituirá las dos restricciones anteriores por una que indique únicamente donde se deberán abrir las instalaciones ya existentes, sin indicar el tipo de instalación (Z.2.8).

CAPÍTULO 5. APLICACIÓN DE LOS MODELOS Y RESULTADOS

En este capítulo se muestra la aplicación de los modelos descritos en una situación real para evaluarlos e identificar las mejoras. Los modelos se aplicarán sobre las unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud en diferentes municipios rurales del Estado de México, para esto, es necesario definir los parámetros base que se utilizarán en los modelos.

La **distancia entre nodos** (d_{ij}) se obtuvo del Sistema de Integración Territorial (ITER) del INEGI, este sistema muestra información sociodemográfica de todas las localidades habitadas del país, donde también se muestra la ubicación geográfica de cada localidad (latitud, longitud y altitud). Para estimar la distancia entre una localidad y otra se convertirán estas coordenadas geográficas al Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM), este sistema está basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, la diferencia con respecto al sistema de coordenadas geográficas, es que las magnitudes en el sistema UTM se expresan en dos dimensiones, dejando todos los puntos como si estuvieran al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia, por tal motivo no se considerará la diferencia entre altitudes entre las diferentes localidades. Para realizar esta conversión se utilizó un programa en Excel propuesto por Ortiz (2003).

Para **demanda del servicio médico de primer nivel** (a_i) se utilizará la información del ERO 2002 del Estado de México, ésta es el último análisis publicado por la Secretaría de Salud donde se presenta la regionalización operativa de las unidades médicas en este estado y de donde se tomará la población total por localidad en cada uno de los municipios como demanda.

La **capacidad de instalación** (c_k) utilizada en los modelos se basó en el MASPA, en la cual se plantea que un núcleo básico tiene una capacidad de cobertura de 500 familias, en ese momento se estimó que el promedio de integrantes por familia fue de 4.8 personas, este estándar también se utilizó por la SSEM, lo que representa que cada núcleo básico tiene una capacidad de atención para 2,400 habitantes. En la siguiente tabla se muestran la capacidad para cada una de las instalaciones que se evaluarán en los modelos.

Tabla 7. Capacidad de Instalaciones

Tipo de Instalación	k	Capacidad
Rural de 01 núcleo básico	1	2,400
Rural de 02 núcleos básicos	2	4,800
Rural de 03 núcleos básicos y más	3	7,200
Urbano de 01 núcleos básicos	4	2,400

Urbano de 02 núcleos básicos	5	4,800
Urbano de 03 núcleos básicos	6	7,200
Urbano de 04 núcleos básicos	7	9,600
Urbano de 05 núcleos básicos	8	12,000
Urbano de 06 núcleos básicos	9	14,400
Urbano de 07 núcleos básicos	10	16,800
Urbano de 08 núcleos básicos	11	19,200
Urbano de 09 núcleos básicos	12	21,600
Urbano de 10 núcleos básicos	13	24,000
Urbano de 11 núcleos básicos	14	26,400
Urbano de 12 núcleos básicos y más	15	28,800

Para la **distancia máxima de cobertura por tipo de instalación en km (s_k)**, se clasificaron los municipios de acuerdo al total de población que vivía en localidades urbanas y rurales en el ITER (2010), si el 80% o más de la población total de un municipio se encuentra en localidades rurales se clasifica al municipio como rural, en caso contrario como urbano, se clasificó de 124 municipios a 21 como rurales y a 103 como urbanos.

Con esta clasificación se obtuvo un estimado de la densidad de población rural promedio del Estado de México, dividiendo el total de la población de los municipios rurales entre el total de la superficie de estos municipios, de igual forma se obtuvo el estimado de la densidad poblacional urbana, quedando la densidad rural de 121.6 hab/km² y la densidad urbana de 889.2 hab/km². Con estas densidades se calculó el alcance de cobertura promedio en kilómetros cuadrados para cada uno de los diferentes tipos de unidades médicas.

Este alcance de cobertura se multiplicó por un factor 1.5 para ampliar la cobertura y que este valor fuera usado como tolerancia máxima permitida para asignar una localidad a una unidad médica. En la Tabla 8 se muestra la distancia máxima de cobertura para cada uno de los diferentes tipos de instalaciones.

Si la distancia entre la localidad y la unidad médica supera la distancia establecida, entonces no se podrá realizar esta asignación. Este factor es un valor que el decisor debe establecer, en este caso es un valor definido por el investigador, dejando un 50% más de tolerancia sobre el alcance de cobertura promedio calculado, con lo cual de los 21 municipios rurales, 14 se encontraron por debajo de esta densidad promedio establecida y no se verán afectados en gran medida por esta restricción, mientras que los otros 7 municipios tienen una mayor densidad lo que significa una mayor dispersión de la población, en este caso la restricción es útil para establecer una distancia máxima de recorrido para la población; por otra parte 78 de los 103 municipios urbanos quedaron debajo del promedio de densidad establecido.

Tabla 8 Distancia máxima de cobertura

Tipo de instalación	k	Cobertura (km)
Rural de 01 núcleo básico	1	24,750
Rural de 02 núcleos básicos	2	49,350
Rural de 03 núcleos básicos y más	3	74,100
Urbano de 01 núcleos básicos	4	3,450
Urbano de 02 núcleos básicos	5	6,750
Urbano de 03 núcleos básicos	6	10,200
Urbano de 04 núcleos básicos	7	13,500
Urbano de 05 núcleos básicos	8	16,950
Urbano de 06 núcleos básicos	9	20,250
Urbano de 07 núcleos básicos	10	23,700
Urbano de 08 núcleos básicos	11	27,000
Urbano de 09 núcleos básicos	12	30,450
Urbano de 10 núcleos básicos	13	33,750
Urbano de 11 núcleos básicos	14	37,200
Urbano de 12 núcleos básicos	15	40,500

La **penalización por abrir nuevas unidades médicas (q_k)** se basó de acuerdo a los costos establecido por el Modelo de recursos para la planeación de unidades médicas de la Secretaría de Salud (Secretaría de Salud, 2011), este costo contempla el costo total de obra más el costo de equipamiento.

Tabla 9 Costo por abrir nuevas unidades médicas

Tipo de Instalación	k	Penalización
Rural de 01 núcleo básico	1	3,636,963
Rural de 02 núcleos básicos	2	6,031,628
Rural de 03 núcleos básicos y más	3	12,414,432
Urbano de 01 núcleos básicos	4	3,636,963
Urbano de 02 núcleos básicos	5	6,031,628
Urbano de 03 núcleos básicos	6	12,414,432
Urbano de 04 núcleos básicos	7	13,979,766
Urbano de 05 núcleos básicos	8	19,300,013
Urbano de 06 núcleos básicos	9	27,060,284
Urbano de 07 núcleos básicos	10	27,801,114
Urbano de 08 núcleos básicos	11	29,568,311

Urbano de 09 núcleos básicos	12	30,370,165
Urbano de 10 núcleos básicos	13	31,200,337
Urbano de 11 núcleos básicos	14	33,224,570
Urbano de 12 núcleos básicos y más	15	33,517,098

Para el municipio de Jilotepec, se realizó una consideración especial debido a que en la cabecera municipal existe un centro de salud con hospitalización, este tipo de unidades se encuentran en desaparición, de acuerdo la asignación establecida en el ERO, su capacidad se encontraba cercana a los 4 núcleos básicos, por lo que se considero con esta capacidad para el modelo.

5.1. Selección de los Municipios

Del Estado de México se seleccionaron cinco municipios con los menores índices de cobertura en salud. En el Anexo 1 – Tabla 27 se muestran los principales municipios rurales del Estado de México que tienen la menor cantidad de unidades médicas de servicio público por habitante, el municipio de Jiquipilco ocupa el primer lugar con 1.6 unidades por cada diez mil habitantes, en segundo lugar se encuentra Villa Victoria con 2.0 unidades, el tercer lugar lo ocupa Jilotepec, Texcaltitlán y Villa de Allende empatados los tres con 2.3 unidades. También se muestran el número de consultorios por cada diez mil habitantes, teniendo estos municipios un promedio menor a 3 consultorios a excepción de Jilotepec que cuenta con 3.6 consultorios por cada diez mil habitantes. Por otro lado se muestra la razón de médicos por cada 10 kilómetros a la redonda, teniendo estos municipios un promedio de 1 médico por cada 20 kilómetros a la redonda.

De acuerdo a lo anterior, se seleccionaran estos cinco municipios con la finalidad de evaluar una situación real en la que se presentan graves problemas de falta de recursos para dar la atención médica de primer nivel necesaria para cubrir a toda la demanda existente. Con la aplicación de los modelos sobre estos municipios se espera encontrar una mejor regionalización operativa al optimizar los recursos y a su vez detectar similitudes o diferencias entre los cambios en la infraestructura en los últimos años con respecto a los propuestos por el modelo.

5.2. Selección de software

Se utilizará GAMS (General Algebraic Modeling System), que es un software que usa un lenguaje algebraico de modelado que tiene gran capacidad de indexación de variables y ecuaciones, permitiendo sin dificultad cambiar las dimensiones de los modelos y de forma

natural separar los datos de resultados. Otra característica es que permite al modelador la detección de errores de consistencia en la definición y verificación del usuario. Existen otras aplicaciones que manejan este tipo de lenguaje como lo son AMPL, MPL, AIMMS, XPRESS-MP por citar algunos. Pero de ellos, GAMS es el más antiguo y con el conjunto de usuarios más amplios, por lo que es el lenguaje más difundido y con mayor soporte. (Ramos, Sánchez, Ferrer, Barquín, & Linares, 2010)

GAMS permite al usuario concentrarse en el modelado al eliminar las tareas específicas de la máquina, problemas tales como cálculos de direcciones, tareas de almacenamiento, vinculación de subrutinas y entradas-salidas, y control de flujo. GAMS aumenta el tiempo disponible para la conceptualización y la ejecución del modelo, y el análisis de los resultados. Las estructuras de modelado son simples, ya que requiere la especificación concisa y exacta de las entidades y relaciones. El lenguaje GAMS es formalmente similar a los lenguajes de programación utilizados, por tanto, es familiar para cualquiera que tenga experiencia en programación. (GAMS Development Corporation, 2010)

Los datos se introducen una sola vez en la lista de familias y en forma de tabla. Los modelos se describen con breves declaraciones algebraicas que son fáciles de leer para los usuarios y la máquina. GAMS genera automáticamente cada ecuación de restricción, y permite al usuario hacer excepciones en los casos en que la generalidad no se desea. Las declaraciones de los modelos se pueden reutilizar sin tener que cambiar el álgebra cuando otras instancias de los mismos problemas o relacionados puedan surgir. La ubicación y el tipo de errores que ocurran durante el proceso, es señalado antes de mostrar una solución errónea. GAMS facilita el análisis de sensibilidad, el usuario puede programar fácilmente un modelo para resolver los diferentes valores de un elemento y luego generar un informe de salida lista de las características de la solución para cada caso. Los modelos pueden ser desarrollados y documentados de forma simultánea por GAMS, permite al usuario incluir un texto explicativo, como parte de la definición de cualquier símbolo o ecuación. (GAMS Development Corporation, 2010)

De acuerdo a todas las características antes señaladas, se utilizara GAMS para la modelación del problema de optimización de esta investigación, en el Anexo 4 se muestra la programación utilizada para el municipio de Villa de Allende como ejemplo del código utilizado.

5.3. Complejidad computacional

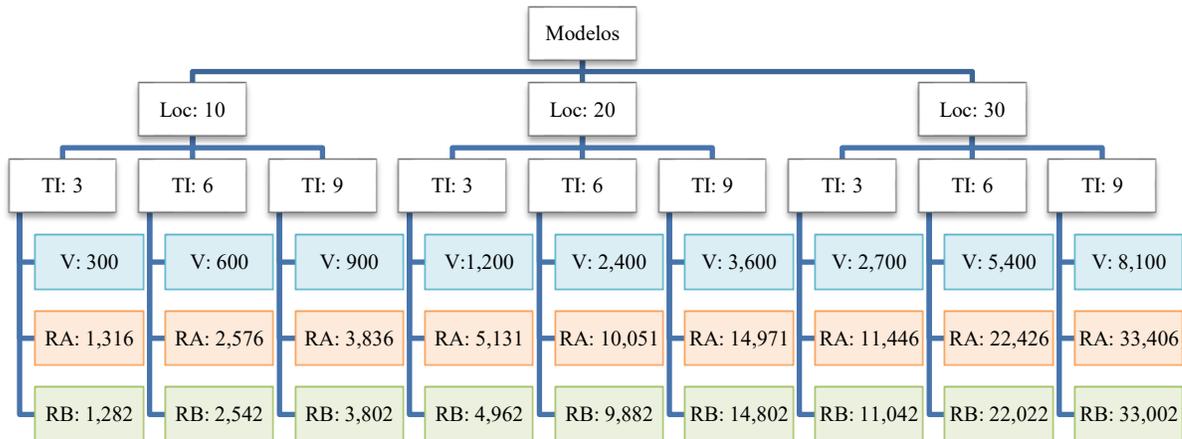
Todo algoritmo tiene una serie de características, entre otras que requiere de recursos, algo que es fundamental considerar a la hora de implementarlos. Estos recursos son principalmente:

- Tiempo: período transcurrido entre el inicio y la finalización del algoritmo.
- Memoria: la cantidad que necesita el algoritmo para su ejecución

Las pruebas de los modelos en GAMS arrojan resultados coherentes y óptimos. La solución de los problemas se vuelve más compleja al aumentar el número de localidades y tipo de instalaciones, así como el tiempo en el que el sistema computacional puede resolverlo, en el siguiente diagrama de árbol de la Figura 7 se muestra una simulación del número de variables y restricciones de acuerdo los dos factores antes mencionados. El desempeño del modelo con GAMS depende mucho del hardware con el que se cuenta, representado este un limitante para el tamaño de las instancias que se pueden probar, en este caso las características del equipo utilizado son las siguientes:

- Procesador: Intel® Pentium® Dual CPU T2390 @ 1.86 GHz
- Memoria RAM: 2.00 GB
- Sistema Operativo: Windows 7 Ultimate®
- Tipo de sistema: Sistema operativo de 32 bits

Figura 7 - Simulación de variables y restricciones



- Loc: Número de localidades
- TI: Número de tipos de instalación
- V: Número de variables resultantes
- RA: Número de restricciones para el modelo A
- RB: Número de restricciones para el modelo B

En cuanto al tiempo computacional para resolver los problemas planteados, de acuerdo al número de localidades y tipos de unidades, en todos los casos resulto ser menor a 5 minutos, por lo cual no se llevó un registró de los tiempos de ejecución. Para problemas mas grandes se vuelve más complejo el algoritmo y el tiempo de ejecución aumenta, es por esto que los modelos actuales están diseñados exclusivamente para municipios rurales con

un número relativamente bajo de localidades, pero con gran amplitud territorial cada una de ellas.

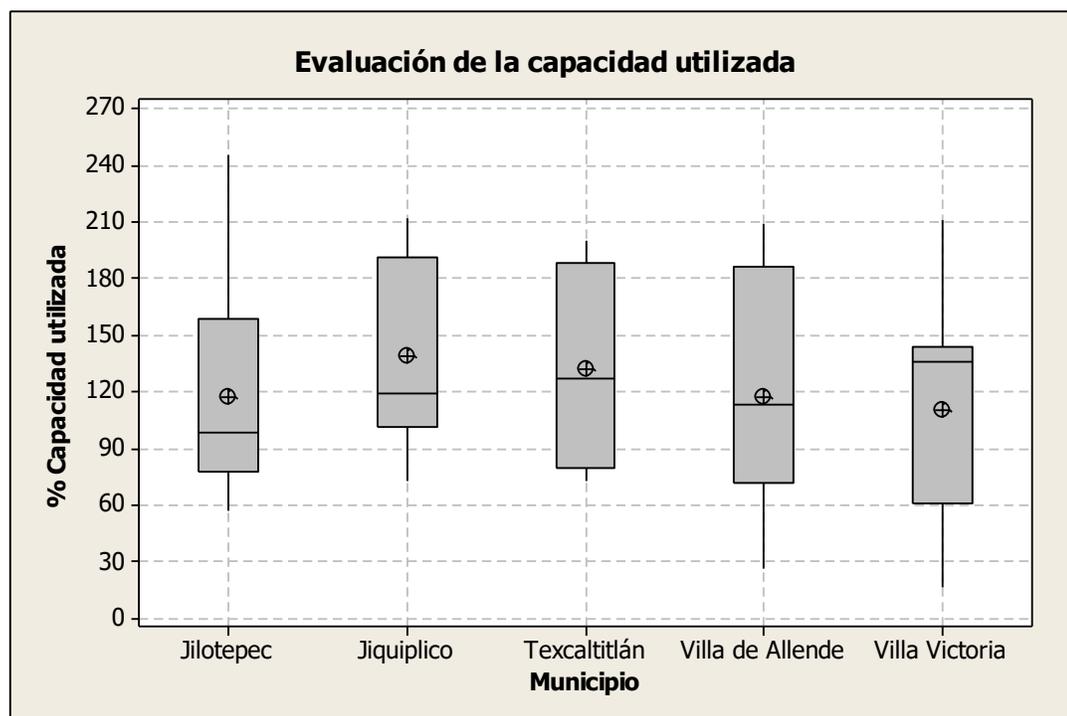
5.4. Aplicación y resultados obtenidos del modelo A.

En esta sección se mostrará como se aplicó el modelo A y los resultados obtenidos. El modelo A es un modelo de localización-asignación para evaluar la asignación de las localidades dentro de un municipio a las unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud existentes.

Este modelo se evaluará con datos obtenidos del Estudio de Regionalización Operativo del Estado de México del 2002, proporcionado por la Unidad de Seguimiento y Evaluación de la Secretaría de Salud del Estado de México (SSEM). Este estudio es la última versión que se tiene sobre como se encuentra distribuida la atención primaria a la salud de las diferentes unidades médicas de esta dependencia entre las localidades de cada municipio.

En un primer análisis de este estudio, se encontró una distribución desigual de la población con respecto a la capacidad de las unidades médicas, en la Figura 8 se muestra una grafica boxplot donde se aprecia la capacidad utilizada de la unidades médicas en cada municipio de acuerdo a la capacidad estimada en el MASP A y la población del estudio ERO. Se puede observar que esta capacidad es inferior a la demanda, lo que ocasiona que las unidades en general se encuentren saturadas. Jiquipilco es el municipio que presenta una mayor saturación al tener un 139.3% de demanda con respecto a su capacidad, es decir, tiene un 39.3% más demanda de la que puede atender; en segundo lugar se encuentra el municipio de Texcaltitlán con un 132.0%, le siguen Jilotepec y Villa de Allende con un 117.7% y 117.0% respectivamente y por último se encuentra Villa Victoria con un 110.4%.

Figura 8 - Capacidad utilizada de los servicios de atención primaria a la salud en los municipios evaluados



Se llamará capacidad utilizada, al porcentaje de demanda con respecto a la capacidad de una instalación, en la mayoría de los casos esta será superior al 100% lo que representará que hay una sobredemanda con respecto a la capacidad. En la Tabla 10 se muestra la desviación estándar de la capacidad utilizada en cada municipio, se aprecia que existe una gran variación entre la capacidad utilizada de cada uno de los municipios. La variabilidad más alta se encuentra en Villa de Allende con 62.8%, el segundo lugar lo ocupa Texcaltitlán con 56.7%, en tercer lugar Jilotepec con 56.1%, el cuarto lugar se encuentra Villa Victoria con 53.5% y por último con un valor no menos bajo esta Jiquipilco con el 50.3%, la desviación estándar promedio de todas las unidades médicas analizadas es de 54.7%. Esto nos lleva a la conclusión de que la población se encuentra mal distribuida entre las diferentes unidades médicas debido a una mala planeación de la regionalización operativa y de la infraestructura. Una de las principales razones por las que una persona decide acudir a cierta unidad médica es por la cercanía de ésta y de acuerdo al análisis del comportamiento de la población mostrado en el ERO, se observa que las unidades médicas no están bien situadas dentro de cada municipio por lo que se genera que haya una gran variación en cuanto la demanda en relación a la capacidad de cada una de ella. Con la aplicación del modelo A se pretende encontrar una mejor asignación de la población a las unidades médicas existentes con la finalidad de que esta asignación se aplique en una situación real y disminuir la desviación estándar, es decir, que todas las unidades atiendan

el mismo número de personas de acuerdo a su capacidad tratando de minimizar la distancia que existen entre las localidades y las unidades médicas.

Tabla 10 Media y desviación estándar de la capacidad utilizada

Municipio	Unidades	Media	Desviación Estándar	Q1	Mediana	Q3
Jilotepec	18	117.7%	56.1%	77.8%	98.5%	158.8%
Jiquipilco	14	139.3%	50.3%	101.0%	119.5%	191.8%
Texcaltitlán	4	132.0%	56.7%	79.8%	127.5%	188.8%
Villa de Allende	11	117.0%	62.8%	72.0%	113.0%	186.0%
Villa Victoria	18	110.4%	53.5%	60.3%	136.0%	144.3%
Global	65	121.1%	54.7%	76.0%	114.0%	157.5%

Para aplicar el modelo A se utilizarán los parámetros mencionados con anterioridad, y adicional a ellos, se requieren algunos datos propios para este modelo con respecto al modelo B. Las fuentes de información de dichos parámetros se muestran a continuación en la Tabla 11.

Debido a que la capacidad de las unidades médicas existentes es insuficiente, en el modelo A se establece una meta mínima de población asignada en cada localidad de acuerdo al alcance de cobertura total. Esta meta es el factor β , que es el factor que determina el nivel de población mínimo en cada localidad que deber ser satisfecho por el modelo. Para evitar la infactibilidad del modelo se dará una tolerancia a la meta de cobertura en relación con la capacidad de cobertura total de cada municipio, reduciendo en un 5% este valor, quedando de como se indica en la Tabla 12.

Tabla 11 Parámetros específicos del modelo A

Parámetros	Fuentes de Información
Instalaciones abiertas	Estudio de Regionalización Operativa del Estado de México (2001)
Tamaño de la Población	Estudio de Regionalización Operativa del Estado de México (2001)
Matriz de distancias	Integración territorial del conteo de población y vivienda (1995, 2000, 2005)

Tabla 12 Capacidad de cobertura meta para el modelo A

Municipio	Capacidad de cobertura	β
Jilotepec	87%	0.82
Jiquipilco	69%	0.64
Texcaltitlán	79%	0.74
Villa de Allende	84%	0.79
Villa Victoria	86%	0.81

Por otro lado se requiere establecer los pesos que se utilizarán en la función objetivo para el modelo A, estos pesos, como se mencionó en la sección 3.5, se puede determinar haciendo uso de la fórmula propuesta por Stillwell, Seaver, & Edwards (1981) para estimar las preferencias relativas del decisor. En esta aplicación del modelo, el decisor fue el Ingeniero Biomédico Raúl Martínez Corres, Jefe de la Unidad de Seguimiento y Evaluación de la Secretaría del Estado de México. En una entrevista realizada en Octubre de 2011 se le preguntó acerca de las preferencias en cuanto a los objetivos de ambos modelos, en la Tabla 13 se muestran estas preferencias en cuanto al modelo A y su valor una vez aplicada la fórmula.

Se aplicó el modelo Z para obtener la distancia total recorrida que se utilizará como meta en cada uno de los municipios para aplicar el modelo A, a esta distancia se le multiplicó por un factor de 0.80 para tratar de mejorar la distancia propuesta por este modelo, los resultados se muestran en la Tabla 14.

Tabla 13 Pesos de los objetivos en el modelo A

Objetivo	Preferencia	Parámetro	Valor
Minimizar la distancia total recorrida de la población, desde sus localidades hacia las unidades médicas	2	W_1	0.3333
Maximizar la capacidad utilizada de todas las unidades médicas	1	W_2	0.6666

Tabla 14 Distancia meta para el modelo A

Municipio	Distancia total recorrida en km (z)	Distancia meta en km z(0.80)
Jilotepec	95,417,032	76,333,626
Jiquipilco	49,889,655	39,911,724
Texcaltitlán	27,125,408	21,700,327
Villa de Allende	81,591,461	65,273,169
Villa Victoria	125,444,912	100,355,930

Una vez obtenidos todos los datos se aplicó el modelo A, utilizando el software GAMS, en el Anexo 4 se muestra el código de programación utilizado, debido a que es el mismo para todos los municipios solo se anexó como ejemplo su aplicación en Villa de Allende. Los resultados detallados de este modelo se muestran en el Anexo 5, a continuación se muestran las principales comparativas entre estos resultados y el ERO.

Los resultados en cuanto a la distancia total recorrida se compararon con respecto los resultados del ERO. En la Tabla 15 se muestra la comparación de la distancia total recorrida de la población de las localidades hacia las unidades de la salud del ERO 2002 y del Modelo A, se compara esta distancia para la población asignada en el modelo, debido a que la capacidad de las unidades no alcanzan a cubrir toda la población solo se tomó determinado porcentaje de la población como se muestra en la tabla. También se compara esta distancia considerando la asignación del modelo para toda la población de cada localidad, encontrando en ambos casos una mejor significativa del modelo A con respecto al ERO. El municipio que mostró el mejor resultado fue el municipio de Villa Victoria, donde se encontró una mejora en la distancia con respecto al ERO del 30% para la población asignada, en segundo lugar se encontró el municipio de Villa de Allende con un 24%, el tercer lugar se encontró Jiquipilco con una mejora del 13% y en cuarto lugar Jilotepec con una mejora del 6% para la población asignada, se observa que en el caso de Texcaltitlán la asignación empeoró en un 8%. Este último resultado se debe a que el ERO tiene una buena asignación de acuerdo a la cercanía de las localidades y las unidades médicas, pero en cuanto a equidad de demanda asignada en cada unidades médicas se puede apreciar una fuerte desigualdad, mientras unas se encuentran saturadas, otras tienen poca población demandante; por otro lado, el modelo propone una distancia total recorrida un poco mayor pero con una repartición más equitativa de la demanda en cada una de las unidades médicas existentes, lo que se analizará posteriormente con la desviación estándar de la capacidad utilizada de las unidades médicas.

En general los resultados son buenos para la población asignada, utilizando esta misma asignación pero para toda la población existente se encontró una similitud en los resultados, la única variación existente fue en el caso del municipio de Jilotepec en el que se redujo la mejora solo un 1%, lo que nos puede llevar a la conclusión de que la asignación encontrada se puede aplicar a toda la población con una mejora significativa muy cercana a la del modelo.

Tabla 15 Comparación de la distancia total recorrida del ERO y el modelo A

Municipio	Población		Distancia recorrida para la población asignada			Distancia recorrida para la población total		
	Total	% Asignada	DA ERO*	DA M*	Mejora	DT ERO*	DT M*	Mejora
Jilotepec	57,288	86.8%	101.1	94.8	6%	120.6	114.4	5%
Jiquipilco	55,219	66.6%	55.3	48.0	13%	86.1	74.6	13%
Texcaltitlán	15,066	76.1%	26.1	28.1	-8%	34.5	37.1	-8%
Villa de Allende	39,941	77.8%	100.8	76.6	24%	126.1	96.4	24%
Villa Victoria	69,456	82.8%	177.7	124.1	30%	216.7	151.5	30%

*Distancia en miles de kilómetros

DA ERO: Distancia total recorrida de la población asignada de acuerdo al modelo ERO.

DA M: Distancia total recorrida de la población asignada de acuerdo al modelo A.

DT ERO: Distancia total recorrida del total de la población de acuerdo al modelo ERO.

DT M: Distancia total recorrida del total de la población asignada de acuerdo al modelo A.

En cuanto a los resultados referentes al objetivo de maximizar la capacidad utilizada, en las siguientes Tablas 16 y 17 se muestran los resultados obtenidos. Para realizar la comparación con respecto al ERO, se evalúa la capacidad promedio utilizada en cada una de las unidades médicas y la desviación estándar, ésta última servirá para evaluar que tan equitativamente se encuentra distribuida la población, se evaluaron estos dos estadísticos para la población asignada en el modelo, y posteriormente para población total.

Se hará énfasis en la importancia de la desviación estándar que tenga cada municipio con respecto a la capacidad utilizada de las unidades médicas, debido a que reflejará que tan bien se distribuyó la población en los diferentes puntos donde se ofrece el servicio de acuerdo a la capacidad de cada uno, una desviación estándar alta refleja que mientras en algunas unidades la capacidad de atención se encuentra saturada, en otras unidades hay capacidad de atención ociosa que no esta siendo aprovechada. El modelo propuesto tiene la característica de reducir esta variación debido a que se penaliza la capacidad ociosa de las unidades médicas.

En la Tabla 16 se muestra la evaluación de la población asignada en el modelo, todas las capacidades fueron cercanas al 100%, esto es debido a que la meta era asignar el cien por ciento de la capacidad, pero en algunas unidades médicas no fue posible alcanzar esta meta debido al alto costo en la distancia. Por otro lado la desviación estándar es muy pequeña, menor o igual al 1%, a excepción del municipio de Villa Victoria que alcanzó un 11.2% debido a que en dos unidades salud la capacidad no se utilizó en su totalidad, quedando por debajo de las demás debido a su ubicación. Comparando la desviación estándar con la asignación del ERO se aprecia una notable mejoría en todos los municipios, sin embargo estos resultados no son importantes debido a que eran esperados, el modelo fue diseñado para que al asignar la mayor cantidad de población posible a las unidades médicas, tratando

de utilizar toda la capacidad disponible, por lo que con estos resultados podemos concluir en que el modelo se comportó de acorde a los resultados esperados.

Con respecto a la evaluación de la población total los resultados del modelo indican una mejor distribución de la población en las unidades médicas de cada municipio con respecto al ERO, el promedio de capacidad utilizada en cada unidad médica refleja el porcentaje de utilización promedio en cada municipio, si se observan las desviaciones estándar del ERO se observan valores muy altos debido a que existe una gran variación entre las unidades médicas de cada municipio con respecta a la utilización de la capacidad. De acuerdo a los resultados mostrados en la Tabla 17, la desviación estándar obtenida del modelo es muy baja, el mejor resultado pertenece a Texcaltitlán, con un promedio de 132.0% de capacidad utilizada en las unidades médicas y una desviación estándar del 0.8%, reduciendo en un 48.4% la desviación estándar, mientras que Villa de Allende obtuvo la variación más alta con un promedio de 122.9% de capacidad utilizada y una desviación estándar del 22.9%, sin embargo la mejora sigue siendo bastante alta con una reducción del 37.1% en la desviación estándar. Cabe mencionar que anteriormente se observó que con la aplicación del modelo se obtuvo en Texcaltitlán una mayor distancia total recorrida por la población comparándolo con el ERO, sin embargo se aprecia la mejora en cuanto a la distribución de la población en las unidades de salud, lo que justifica el incremento de la distancia en el modelo por el valor agregado de la distribución.

Tabla 16 Capacidad promedio y desviación estándar para la población asignada en el modelo A

Municipio	Unidades	Población Asignada				
		Capacidad usada promedio		Desviación estándar		
		ERO	Modelo	ERO	Modelo	Mejora
Jilotepec	18	102.7%	99.8%	44.2%	1.0%	43.3%
Jiquipilco	14	92.8%	99.9%	29.6%	0.3%	29.3%
Texcaltitlán	4	100.6%	99.8%	36.3%	0.0%	36.3%
Villa de Allende	11	90.1%	94.9%	44.3%	11.2%	33.1%
Villa Victoria	18	91.7%	100.0%	43.0%	0.0%	43.0%

Tabla 17 Capacidad promedio y desviación estándar para la población total en el modelo A

Municipio	Población Total				
	Capacidad usada promedio		Desviación estándar		
	ERO	Modelo	ERO	Modelo	Mejora
Jilotepec	117.7%	113.5%	54.5%	4.8%	49.7%
Jiquipilco	139.2%	144.0%	48.4%	4.9%	43.5%
Texcaltitlán	132.0%	113.5%	49.2%	0.8%	48.4%
Villa de Allende	117.0%	122.9%	60.0%	22.9%	37.1%
Villa Victoria	110.4%	115.9%	52.1%	2.2%	49.9%

5.5. Aplicación y resultados obtenidos del modelo B

En esta sección se mostrará como se aplicó el modelo B y los resultados obtenidos. El modelo B, es un modelo de localización-asignación que se utilizó para evaluar la asignación de las localidades de un municipio a las unidades médicas de primer nivel existentes de la Secretaria de Salud con opción de ampliar o abrir nuevas unidades médicas para satisfacer toda la demanda.

Los resultados obtenidos se compararán inicialmente con el ERO 2002 para evaluar la mejora de la situación de la infraestructura inicial y la mejora al implementar el modelo. También se comparará con la infraestructura al 2011 y el Plan Maestro de Infraestructura Física en Salud 2010 en el que se muestran todos los cambios que se planean realizar en los próximos años con el fin de encontrar similitudes y diferencias.

En la siguiente tabla se muestran las fuentes de información para los datos de los parámetros propios que se necesitan para aplicar el modelo B:

Tabla 18 Parámetros específicos del modelo B

Parámetros	Fuentes de Información
Instalaciones abiertas	Base de datos de unidades médicas del sector. Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS).
Tamaño de la Población	Censo de Población y Vivienda 2010
Matriz de distancias	Integración territorial del conteo de población y vivienda (2010)

Al igual que en el modelo A, se le cuestionó al decisor sobre las preferencias en cuanto a los objetivos del modelo, utilizando la misma formulación para establecer los pesos. En la siguiente tabla se muestran las preferencias del mismo decisor y el valor de los pesos:

Tabla 19 Pesos de los objetivos en el modelo B

Objetivo	Preferencia	Parámetro	Valor de W_i
Minimizar la distancia total recorrida de la población, desde sus localidades hacia las unidades médicas	3°	W_1	0.1818
Maximizar la capacidad utilizada de todas las unidades médicas	2°	W_2	0.2727
Minimizar el costo por ampliar o abrir unidades médicas	1°	W_3	0.5455

Se aplicó el modelo Z para obtener la distancia total recorrida que se utilizará como meta en cada uno de los municipios, ésta se tomará directamente como distancia referente para el modelo B. En el modelo Z la función objetivo solo minimiza la distancia total recorrida sin penalizar el costo por ampliar o abrir nuevas unidades médicas. Para este modelo se estableció como restricción que en todas las localidades se asignará al menos el 95% de toda la población y que la capacidad utilizada de las unidades médicas fuera de al menos del 80%.

En la siguiente tabla se muestran los resultados del modelo z.

Tabla 20 Capacidad de cobertura meta para el modelo B

Municipio	Distancia total recorrida en km (z)
Jilotepec	69,626,863
Jiquipilco	36,909,783
Texcaltitlán	20,986,235
Villa de Allende	53,701,169
Villa Victoria	99,795,933

Se utilizaron estas metas para establecer la distancia objetivo del modelo B, con respecto a la capacidad se desea como meta utilizar el 100% de la capacidad de todas las unidades médicas abiertas y como tercera meta con respecto a la penalización por abrir o ampliar unidades médicas, se estableció que la meta es evitar aumentar el costo actual de las unidades ya abiertas. Como restricción para asegurar que toda la población sea asignada se

estableció que se debe asignar al menos el 95% de toda la población en cada localidad, dejando un 5% de holgura para dar flexibilidad al modelo para que seleccione la mejor opción sin ser tan estrictos en cuanto a una cifra exacta que haría más complicado encontrar una solución factible. También se fijó que para localidades con poblaciones menores a 20 habitantes se asignara el 100% de la población de estas localidades.

Los resultados detallados de este modelo se muestran en el Anexo 5, a continuación se muestran las principales comparativas entre estos resultados, los cambios recientes en la infraestructura y el ERO.

Se aplicó el modelo en GAMS, en la tabla del Anexo 3 se hace una comparación de la infraestructura física que existía en el 2002 obtenida a través del ERO, la infraestructura al 2011 obtenida de la página de la Secretaría de Salud del Estado de México y la infraestructura de acuerdo al modelo. En la tabla se muestran las aperturas, los cierres y las modificaciones de unidades médicas. Se trató de encontrar similitudes en las aperturas y modificaciones de instalaciones, aunque el número de unidades en ambos casos es muy similar, las localidades donde fueron ubicadas no coincidieron en la mayoría de los casos. Los resultados más similares se encontraron en Jiquipilco donde se recomendó la apertura de una Centro de Salud R01 en la misma localidad donde la SSA decidió abrir una nueva, así como la ampliación de otras dos unidades médicas R01 a R02 que también fueron ampliadas por la SSA. En Villa Victoria en el modelo se propuso la apertura de un Centro de Salud R02 en una localidad donde no existía ninguna instalación, comparándolo con la infraestructura al 2011 se encontró que en esa misma localidad se abrió una Casa de Salud y una Unidad Móvil. En el modelo se partió de que las Unidades Móviles se tomaran como Centros de Salud R01, se encontró que en varias localidades donde existían estas unidades, se convirtieron en Centros de Salud, dos en Villa de Allende y tres en Villa Victoria.

En la Tabla 21 se muestra una comparación de los resultados del modelo con a la infraestructura del 2011. Respecto a los cambios que sufrieron las unidades médicas, el número de unidades abiertas al 2011 es muy similar al número recomendado por el modelo, sin embargo existieron cierres en 3 unidades al 2011, mientras que el modelo no analizó este tipo de comportamientos. Con respecto a los cambios o actualizaciones de unidades médicas, fueron resultados completamente diferentes los de la infraestructura al 2011 con respecto a los del modelo.

Tabla 21 Comparación de cambios de la infraestructura al 2011 y los resultados del modelo B

Municipios	Infraestructura al 2011				Resultados del modelo		
	Cambio	Apertura	Cierre	Sin cambio	Cambio	Apertura	Sin cambio
Jilotepec	6	3	1	11	1	4	17
Jiquipilco	6	4	1	7	2	5	12
Texcaltitlán	1	1	0	3	0	2	4
Villa de Allende	1	2	0	8	4	3	7
Villa Victoria	5	3	1	11	5	7	13

En la Tabla 22 se observa el área cubierta en kilómetros cuadrados por cada unidad médica en cada uno de los municipios; se aprecia una reducción en el área de cobertura en el modelo, lo que representa un mejoramiento del acceso de la población al recorrer menos distancia para recibir la atención médica. El municipio que redujo en mayor nivel la distancia fue Texcaltitlán, al implementar dos nuevas unidades se redujo esta distancia de cobertura en 12 km². En segundo lugar el Villa Victoria se redujo en 8 km², al pasar de 28 km² a 21 km² con la apertura de las nuevas unidades propuestas por el modelo. En tercer lugar Villa Victoria redujo 6 km² y por último Jilotepec y Jiquipilco lograron reducir 6 km² cada uno. Se comparó también el número de habitantes por núcleo básico, recordando que un núcleo es capaz de atender a 2,400 habitantes, con esto evaluaremos la cantidad de población que le correspondería atender a cada uno. La reducción más notable fue en el municipio de Jiquipilco donde se redujo a 2,209 habitantes por núcleo básico con respecto al ERO, reduciéndose en 1,242 habitantes; en un segundo lugar un poco más alejado se encontró Texcaltitlán con 2,152 habitantes por núcleo básico, reduciéndose en 861 habitantes con respecto al ERO, en tercer lugar se encontró Villa de Allende una reducción de 751 habitantes con respecto al ERO, con una cifra final de 2,102 habitantes por núcleo básico, Villa Victoria le sigue con una reducción de 608 habitantes con un total de 2,171 habitantes por núcleo básico y por último Jilotepec con 2,203 habitantes por núcleo básico reduciéndose en 525 habitantes con respecto al ERO.

Tabla 22 Comparación de cobertura en km² y por núcleo básico del ERO y el modelo B

Municipios	Población cubierta		Área de cobertura por unidad médica (km)			Habitantes por núcleo básico		
	ERO	Modelo	ERO	Modelo	Diferencia	ERO	Modelo	Diferencia
Jilotepec	87%	100%	33	27	6	2,728	2,203	525
Jiquipilco	69%	100%	22	16	6	3,451	2,209	1,242
Texcaltitlán	79%	100%	37	25	12	3,013	2,152	861
Villa de Allende	84%	100%	28	22	6	2,853	2,219	634
Villa Victoria	86%	100%	24	17	7	2,778	2,171	608

Los resultados obtenidos se compararon de igual forma con el ERO en cuanto a distancia total recorrida y capacidad utilizada. La población asignada en el modelo es cercana al 100% en todos los municipios, si se observa la mejora del modelo con respecto a la infraestructura al 2002 obtenida del ERO por municipio de la distancia total recorrida por toda la población en la Tabla 23. El mejor resultado se obtuvo en el municipio de Jiquipilco con un 55%, en segundo lugar se encuentra Villa de Allende con un 54%, en un tercer lugar cercano se encuentra Villa Victoria con un 52%, en cuarto lugar se encontró Jilotepec con un 40% y en último lugar se obtuvo en Texcaltitlán una mejoría del 28%. Todos estos resultados reflejan una gran reducción en la distancia total recorrida.

Tabla 23 Comparación de la distancia total recorrida del ERO y el modelo B

Municipio	Población		Distancia recorrida para la población asignada			Distancia recorrida para la población total		
	Total	% Asignada	DA ERO*	DA M*	Mejora	DT ERO*	DT M*	Mejora
Jilotepec	57,288	97.4%	115.8	69.6	40%	120.6	72.9	40%
Jiquipilco	55,219	98.6%	84.1	37.1	56%	86.1	38.7	55%
Texcaltitlán	14,727	97.6%	29.4	21.0	29%	30.3	21.9	28%
Villa de Allende	39,941	97.3%	121.8	55.1	55%	126.1	57.8	54%
Villa Victoria	69,456	98.2%	210.8	99.8	53%	216.7	103.7	52%

*Distancia en miles de kilómetros

DA ERO: Distancia total recorrida de la población asignada de acuerdo al modelo ERO.

DA M: Distancia total recorrida de la población asignada de acuerdo al modelo B.

DT ERO: Distancia total recorrida del total de la población de acuerdo al modelo ERO.

DT M: Distancia total recorrida del total de la población asignada de acuerdo al modelo B.

En cuanto al análisis de la capacidad, se observa en la Tabla 24 una distribución más equilibrada de los recursos; para la población asignada que representa como mínimo el 95%

de la población de cada localidad, la capacidad promedio de uso de las unidades médicas en los municipios se encuentra entre los rangos del 86.1% en Texcaltitlán hasta un 93.3% en Jilotepec. Con respecto a la desviación estándar de la capacidad utilizada se redujeron significativamente, teniendo la desviación estándar más baja en Jiquipilco con un 8.6% y la más alta de 15.6% en Villa de Allende.

Los resultados para la población total son muy similares debido a que el porcentaje de la población asignada es cercano al cien por ciento, es por esto que se analizarán con mayor detalle estos resultados. En la Tabla 25 se observa la capacidad promedio utilizada de las unidades médicas por municipio, los valores del ERO son muy altos, todos por encima del 100% debido a la falta de capacidad para atender toda la demanda, mientras que con los modelos propuestos, con la apertura de nuevas unidades la capacidad se encontraron valores por debajo del 100% dejando cierta capacidad sin utilizar debido los costos de distancia.

El municipio que más alta tiene su capacidad usada fue del 95.5% en Jilotepec, en segundo lugar se encontró Villa de Allende con un 95.4% de capacidad usada, seguido en tercer lugar se encontró a Jiquipilco con un 92.8%, el cuarto lugar lo ocupó Villa Victoria con 92.2% y en último lugar Texcaltitlán con 88.3%. Con respecto a la desviación estándar de la capacidad usada, es decir la variación que existe entre las poblaciones atendidas y la capacidad de cada una de las instalaciones, se encontró de igual forma una mejora significativa. En Jilotepec se redujo de 54.5% de desviación estándar en el ERO a un 13.0% en el modelo, mejorando en un 41.5%. En Jiquipilco se redujo en un 39.3%, al pasar de una desviación estándar del ERO del 48.4% a solo 9.1%. En Texcaltitlán se redujo de 47.9% en el ERO a solo 10.9% de desviación estándar en el modelo. En Villa de Allende el modelo ERO tenía una desviación estándar del 60.0% debido a una distribución muy desigual de la población a las distintas unidades médicas, con la aplicación del modelo se redujo a 16.1%. Por último en Villa Victoria se redujo del 52.1% del ERO a solo 13.8% en el modelo.

Tabla 24 Capacidad promedio y desviación estándar para la población asignada en el modelo B

Municipio	Unidades	Población Asignada				
		Capacidad usada promedio		Desviación estándar		
		ERO	Modelo	ERO	Modelo	Mejora
Jilotepec	18+4	114.9%	93.3%	52.9%	12.6%	40.2%
Jiquipilco	14+5	137.3%	91.4%	47.7%	8.6%	39.1%
Texcaltitlán	4+2	125.3%	86.1%	46.2%	10.4%	35.8%
Villa de Allende	11+3	113.9%	92.8%	58.2%	15.6%	42.6%
Villa Victoria	18+7	108.4%	90.6%	50.7%	13.4%	37.3%

Tabla 25 Capacidad promedio y desviación estándar para la población total en el modelo B

Municipio	Población Total				
	Capacidad usada promedio		Desviación estándar		
	ERO	Modelo	ERO	Modelo	Mejora
Jilotepec	117.7%	95.5%	54.5%	13.0%	41.5%
Jiquipilco	139.2%	92.8%	48.4%	9.1%	39.3%
Texcaltitlán	128.4%	88.3%	47.9%	10.9%	37.0%
Villa de Allende	117.0%	95.4%	60.0%	16.1%	43.9%
Villa Victoria	110.4%	92.2%	52.1%	13.8%	38.3%

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

6.1. Conclusiones y recomendaciones

La investigación de operaciones tiene una gran variedad de aplicaciones, en distintas ramas, en México la aplicación de estos modelos ha sido bastante limitada, sobre todo en el sector público, por lo cual se presentan todavía muchas áreas de oportunidad para los investigadores mexicanos.

Con la aplicación del modelo A, el cual realiza la asignación de localidades a las diferentes unidades médicas de primer nivel de la Secretaria de Salud que para el año analizado, ya existían y operaban, se comparó la distancia total recorrida por la población obtenida del modelo contra la regionalización operativa propuesta en el ERO. Se encontró que el modelo arrojó una reducción promedio del 18% en la distancia en comparación a la del ERO, para los municipios que obtuvieron mejoras; mientras que aumentó la distancia en un 8% únicamente Texcaltitlán, situación que se debió a una distribución muy poco equitativa de la población con respecto a las unidades médicas y que sólo dio prioridad a reducir la distancia entre la población y las unidades. Se logró distribuir la población de una forma más equitativa en las diferentes unidades médicas, tomando como referencia las desviación estándar del promedio de capacidad utilizada en las unidades médicas, se pasó de un 52.8% de desviación estándar de la capacidad utilizada en los municipios evaluados de acuerdo al ERO, a solo 7.12% en el modelo considerando toda la población. De los 5 municipios analizados, en 4 se encontró la desviación estándar promedio por debajo del 5%, la única excepción fue en Villa de Allende donde la desviación estándar promedio fue del 22.9% debido a la ubicación de 2 unidades médicas en las que el costo por distancia fue mayor al costo por capacidad ociosa. Con la reducción drástica de la desviación estándar de capacidad utilizada en todos los municipios, se puede concluir que se encontró una distribución más equitativa de los recursos con respecto a la propuesta del ERO.

Con la aplicación del modelo B, el cual realizó la asignación de las localidades hacia las diferentes unidades médicas pero con la opción de ampliar o abrir nuevas unidades, pero tomando como base las unidades que ya existían y operaban en el año analizado, se comparó la infraestructura del 2011 para identificar si la planeación realizada por la Secretaria de Salud utilizaba los mismos criterios y si presenta una tendencia similar al comportamiento del modelo. Se observó que desde el 2002, que es el año en el que se realizó el ERO, hasta Diciembre de 2011, se realizaron 13 aperturas de nuevas unidades médicas, 19 ampliaciones y 3 cierres de instalaciones; mientras que el modelo realizó 21 aperturas, 12 ampliaciones y no se consideraron cierres. Al comparar estos resultados se

observa que los esfuerzos de la Secretaría de Salud se han centrado en ampliar la capacidad de las unidades médicas ya existentes, dejando en segundo lugar el mejoramiento del acceso al abrir más unidades. Al comparar si existió concordancia en la ubicación de las ampliaciones o apertura de nuevas unidades, se encontró que solamente 7 unidades médicas en común fueron ampliadas, mientras que en solo dos localidades se coincidió en la apertura de unidades médicas considerando todos los municipios evaluados. Por otro lado los resultados permitieron reducir el área de cobertura de las unidades de salud al pasar de un promedio de 29 km² con la infraestructura del 2002 a solo 21 km², lo que garantiza un mejor acceso por parte de la población. De igual forma se redujo el número de habitantes por núcleo básico, recordando que cada núcleo básico debe brindar como máximo atención a 2400 personas, se paso de 2,965 habitantes a solo 2,191 habitantes por núcleo básico, lo que garantiza la capacidad de atención.

El modelo B se comparó de igual forma con el ERO para evaluar las mejoras encontradas, se comparó la distancia total recorrida por la población, encontrando que el modelo generó una reducción promedio de la distancia del 46% en todos los municipios, esta cifra es bastante alta debido al número alto de unidades médicas que fueron abiertas por el modelo. La capacidad promedio utilizada por cada unidad de salud paso de un 122.6% en el ERO a solo un 92.8% en el modelo, dejando solo el 7.2% como capacidad ociosa, cifra que es adecuada de acuerdo al crecimiento poblacional y que pueda considerar cambios de acuerdo a las preferencias de los habitantes en acudir a otras clínicas diferentes a las asignadas. También se evalúa la desviación estándar de la capacidad utilizada, ésta paso de 52.6% en el ERO a solo un 12.6% con la aplicación del modelo, teniendo una reducción del 40.0%. Con lo cual también se puede concluir que se logró una distribución exitosa de los recursos.

Esta investigación logró los objetivos trazados inicialmente de forma satisfactoria, en primer lugar con el diseño y aplicación del modelo A, se construyó un modelo para la asignación de la población de las comunidades de municipios rurales a las unidades médicas públicas de primer nivel de la Secretaría de Salud que se pudiera compara con el estudio ERO en cada municipio, considerando la infraestructura existente en el año analizado. En segundo lugar con el diseño y aplicación del modelo B, se logró la construcción de un modelo adecuado para la ampliación y/o localización de nuevas unidades cuando la capacidad existente fuera insuficiente para atender toda la demanda. Con estos resultados se pueden aceptar las hipótesis propuestas en esta investigación. Por un lado la asignación de las localidades de los municipios rurales del Estado de México a las diferentes unidades médicas públicas de primer nivel de la Secretaría de Salud se puede mejorar a través de la utilización de un modelo matemático, en comparación con la asignación establecida en el ERO del Estado de México. Por otro lado para mejorar la planeación en la infraestructura de unidades médicas de primer nivel de la Secretaría de Salud en municipios rurales del Estado de México con respecto selección de localidades en

donde se puedan colocar nuevas unidades médicas o la ampliación de unidades ya existentes, se puede tomar como referencia el uso de un modelo matemático que permita evaluar diferentes alternativas. Ambas hipótesis se pueden sustentar con la mejora en cuanto a la reducción obtenida de la distancia total de traslado de la población hacia las unidades médicas, y la baja desviación estándar de la capacidad utilizada que sirve como parámetro para evaluar la justicia en cuanto a la distribución de las unidades médicas con respecto a la población de las diferentes localidades en cada municipio.

Con respecto a las recomendaciones, se considerará la aplicación de modelo de optimización como una respuesta viable para la reorganización y la restructuración de la Secretaria de Salud. Esto permitiría reasignar de una manera mas equilibrada y equitativa a la población rural a las diferentes unidades medicas existentes, con el fin de que cada comunidad dentro de cada municipio tenga una sola unidad a la cual puedan acudir para recibir los servicios de consulta externa y los beneficios otorgados por el Seguro Popular. En una primera instancia se requiere la difusión por parte de la Secretaria de Salud sobre la asignación de la población a las diferentes unidades médicas, en algunas comunidades deberán reubicarse a otras unidades médicas que tal vez se encuentren a una distancia relativamente mayor pero con el beneficio de que se garantizará una mejor atención, reduciendo el tiempo de espera y aumentando la calidad del servicio. El señalamiento de estos beneficios es clave para generar una aceptación por parte de la población. Con la implementación de esta estrategia se espera mejorar la calidad de vida de la población en los municipios rurales, una mejor inversión de los recursos con resultados efectivos y una mejor cobertura en salud.

6.2. Investigación futura

Los resultados obtenidos en el modelo han sido satisfactorios, se encontró una mejor asignación de los recursos existentes y la identificación de puntos estratégicos donde abrir nuevas unidades médicas. Sin embargo este modelo solo abarca una parte de lo que representa el Sistema de Salud en México, por un lado la población desprotegida no solo es atendida por la Secretaria de Salud, también tiene esta función el programa IMSS-Oportunidades, el cual brinda este servicio en comunidades rurales muy marginadas, lamentablemente no existe comunicación y un trabajo en conjunto por parte de estas dos instituciones, por lo que es necesario realizar un análisis en conjunto para poder lograr un mejor resultado. Por otro lado la consulta externa representa el servicio más básico otorgado por las instituciones de salud, se requiere de estudios más detallados que permitan identificar la demanda de servicios más especializados y que las unidades de atención primaria no proveen. De igual forma la incorporación del análisis de hospitales al modelo matemático generaría un mayor beneficio, sin embargo en esta etapa no se integraron debido a la complejidad que involucra determinar la demanda de este servicio, ya que al

igual que los servicios especializados, incorpora otros factores importantes a parte de la demanda y la distancia de acceso de la población.

La utilización de un mejor mecanismo para la medición de la distancia entre las localidades, también es un área de oportunidad, debido a que actualmente no se cuenta con esta información en México, la utilización de estos modelos matemáticos esta muy delimitada y los resultados no siempre reflejan del todo la realidad, sin embargo, la utilización de otros parámetros para evaluar el acceso a las unidades también podría generar mejores resultados, el empleo del tiempo de viaje de una localidad a otra, como lo propone los investigadores del Instituto Nacional de Salud Publica, es una parámetro más preciso para evaluar el acceso, debido a que está basado en sistemas de información geográfica para estimar coberturas y accesibilidad a los servicios de salud, y que integra la velocidad promedio a cual se puede transitar por la red carretera, caminos rurales, así como también por áreas que carecen infraestructura carretera, considerando el relieve, pendiente del terreno, presencia de cuerpos de agua y barreras físicas.

7. REFERENCIAS

1. Alsalloum, O. I. (2003). A goal-programming model applied to the EMS system at Riyadh City, Saudi Arabia. *The Department of Management Science, Lancaster University*.
2. Badri, M. A. (1999). Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem. *International Journal of Production Economics*, 62(3), 237-248.
3. Buor, D. (2003). Analysing the primacy of distance in the utilization of health services in the Ahafo-Ano South district, Ghana. *Int J Health Plann Manage*, 18(4), 293-311.
4. Canós Darós, M., & Ventura Marco, M. (1998). Una evaluación de software comercial para la optimización de modelos lineales en Economía. *VI Jornadas de la Asociación Española de Profesores Universitarios de Matemáticas en la Economía y la Empresa (ASEPUMA)*.
5. Charnes, A., & Cooper, W. W. (1961). *Management Models and Industrial Applications of Applications of Linear Programming*. New York: John Wiley & Sons.
6. Cooper, L. (1963). Location-Allocation Problems. *Operations Research*, 11(3).
7. Daskin, M. S. (1995). *Network and Discrete Location: Models, Algorithms, and Applications*. New York: John Wiley & Sons.
8. Drezner, Z. (1995). *Facility Location: A Survey of Applications and Methods*. Springer-Verlag: Berlin.
9. Drezner, Z., & Hamacher, H. W. (2002). *Facility Location: Theory and Algorithms*. Berlin: Springer-Verlag.
10. Francis, R. L., McGinnis, L. F., & White, J. A. (1992). *Facility layout and location: An analytical approach*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
11. Fundación Mexicana para La Salud. (2006). *La Salud en México: 2006/2012*. Visión de FUNSALUD.
12. GAMS Development Corporation. (2010). *GAMS*. Recuperado el 20 de Marzo de 2012, de <http://www.gams.com/default.htm>
13. Gobierno Federal. (2007). *Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012*. Recuperado el 2011 de 10 de 5, de Presidencia de la República: <http://pnd.presidencia.gob.mx/>

14. Gómez, O., Sesma, S., Becerril, V. M., Knaul, F. M., Arreola, H., & Frenk, J. (2011). Sistema de salud de México. *Salud Pública de México*, 53 Sup 2, 220-232.
15. Hakimi, S. L. (1964). Optimum locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph. *Operations Research*, 12, 450–459.
16. Hernández-Ávila, J. E., Rodríguez, M. H., Rodríguez, N. E., Santos, R., Morales, E., Cruz, C., & Sepulvera-Amor, J. (2002). Cobertura geográfica del sistema mexicano de salud y análisis espacial de la utilización de hospitales generales de la Secretaría de Salud en 1998. *Salud Pública*, 44, 519-532.
17. Hernández-Ávila, J. E., Santos, R., Palacio, L. S., Salgado, A. L., Ríos, V. H., Rodríguez, M. H., & Sepulvera, J. (2010). Modelo geoespacial automatizado para la regionalización operativa en planeación de redes de servicios de salud. *Salud Pública*, 52(5).
18. Homedes, N., & Ugalde, A. (2009). Twenty-Five Years of Health Reforms in Mexico. *PLoS Med*, 6(8).
19. Junthirapanich, C., & Pratheepthaweephon, T. (1998). A Geographic Information-Based Decision Support System (GISDSS) for Facility Location. Pioneering New Technologies: Management Issues and Challenges in the Third Millennium. *International Conference on Engineering and Technology Management*.
20. Lara, S. A., & Morales, V. M. (1998). Metodología para la evaluación de la cobertura de servicios de salud en los municipios externos al área metropolitana de Monterrey. *Universidad Autónoma de Nuevo León*.
21. Marianov, V., & Serra, D. (2005). Location problems in the public sector. En Z. Drezner, & H. Hamacher, *Facility location: Applications and theory*. Berlin: Springer.
22. McCarl, B. A., & Spreen, T. H. (2011). *Applied Mathematical Programming Using Algebraic Systems*. Texas: Texas A&M University.
23. Mirchandani, P. B., & Francis, R. L. (1990). *Discrete location theory*. New York: Wiley-Interscience.
24. Muñoz, C. (2011). *¿Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis?* (Segunda ed.). Naucalpan de Juárez: Pearson.
25. Murawski, L., & Churchb, R. L. (2009). Improving accessibility to rural health services: The maximal covering network improvement problem. *Socio-Economic Planning Sciences*, 43(2), 102–110.
26. Nickel, S., & Puerto, J. (2005). *Location Theory: A Unified Approach*. North-Holland: Amsterdam.

27. Organización Mundial de la Salud. (2011). *Estadísticas Sanitarias Mundiales*.
28. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos. (2005). *Estudios de la OCDE sobre los Sistemas de Salud, México*. OCDE.
29. Ortiz, G. (2003). *gabrielortiz.com*. Recuperado el 05 de 09 de 2011, de <http://www.gabrielortiz.com>
30. Rahman, S., & Smith, D. K. (2000). Use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. *European Journal of Operational Research*, 123, 437-452.
31. Ramírez, L., & Bosque Sendra, J. (2001). Localización de hospitales: Analogías y diferencias del uso del modelo p-mediano en SIG raster y vectorial. *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 21, 53-79.
32. Ramírez, M. L. (2002). ¿Dónde localizar hospitales públicos? Las nuevas tecnologías – SIG- Como herramientas de apoyo a la planificación territorial. Un caso de estudio aplicado a la provincia de Chaco- Argentina. *Serie Geográfica*.
33. Ramos, A., Sánchez, P., Ferrer, J. M., Barquín, J., & Linares, P. (2010). *Modelos Matemáticos de Optimización*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
34. Reville, C., & Swain, R. (1970). Central facilities location. *Geographical Analysis*, 2, 30-42.
35. Secretaria de Salud. (2005). *Modelo de Atención a la Salud para la Población Abierta*.
36. Secretaria de Salud. (2006). *Modelo Integrador de Atención a la Salud (MIDAS)*.
37. Secretaria de Salud. (2006). *Modelo Integrador de Atención a la Salud (MIDAS)*.
38. Secretaria de Salud. (2010). *Plan Maestro de Infraestructura Física en Salud (PMIFS)*.
39. Secretaria de Salud. (2010). *Rendición de Cuentas en Salud 2009*. Distrito Federal.
40. Secretaria de Salud. (2011). *Modelos de recursos para la planeación de unidades médicas de la Secretaría de Salud*.
41. Secretaria de Salud del Estado de México. (2002). *Estudio de Regionalización Operativo (ERO)*.
42. Silva, M. E., & Johnson, M. P. (2006). The Davo City Health System: An Approach to Optimally Locating Community Health Facilities. *The National Health Science Journal*, 43(3).

-
43. Stillwell, W. G., Seaver, D. A., & Edwards, W. (1981). A comparison of Weight Approximation Techniques in Multiattribute Utility Decision Making. *Organization Behavior and Human Performance*, 28, 62-77.
 44. Subhash, Y. E., Narula, S. C., & Tien, J. M. (1991). A Generalized Approach to Modeling the Hierarchical Location-Allocation Problem. *IEEE*, 21(1), 39-47.
 45. Tanser, F. (2002). The Application of GIS Technology to equitably distribute fieldworker workload in a large rural South African health survey. *Tropical Medicine and International Health*, 7(1), 80-90.
 46. Tanser, F., Hosegood, V., Blezer, J., & Solarsh, G. (2001). New Approaches to Spatially Analyse Primary Health Care Usage Patterns in South Africa. *Tropical Medicine and International Health*, 6(10), 826-838.
 47. Wang, L. Y., Haddix, A. C., Teutsch, S. M., & Caldwell, B. (1999). The role of resource allocation models in selecting clinical preventive service. *The American Journal of Managed Care*, 5, 445-454.
 48. Zanjirani Farahani, R., & Hekmatfar, M. (2009). *Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies*. Heidelberg: Physica-Verlag.

ANEXOS

ANEXO 1: PRINCIPALES INDICADORES DE SALUD EN MÉXICO

Tabla 26 Principales indicadores de salud y del sistema por entidad federativa (2009)

Entidad	Unidades públicas de consulta externa por habitante 1/	Hospitales públicos por habitante 2/	Consultorios por habitante Totales 3/	Consultorios por habitante Generales 4/	Médicos por habitante 5/	Médicos generales por habitante 6/	Médicos especialistas por habitante 7/	Promedio diario de consultas por médico 8/	Tiempo de espera en consulta externa 9/	Gasto público en salud como porcentaje del PIB /10
Aguascalientes	10.20	0.90	5.70	2.70	1.80	0.60	1.20	13.90	10.80	3.20
Baja California	7.50	0.50	3.40	2.00	1.00	0.40	0.70	11.50	11.80	4.10
Baja California Sur	22.80	3.00	8.70	4.20	2.20	1.00	1.20	10.80	14.50	4.20
Campeche	27.80	2.80	8.20	4.30	2.30	1.20	1.10	10.90	14.80	3.70
Chiapas	35.10	1.20	4.80	3.40	0.90	0.60	0.40	14.10	15.50	4.10
Chihuahua	14.60	0.90	5.10	3.00	1.10	0.50	0.60	9.00	15.70	4.10
Coahuila	13.30	1.00	5.40	2.60	1.50	0.50	1.00	9.50	16.10	4.70
Colima	35.60	3.30	8.90	4.90	2.30	0.90	1.40	9.70	16.40	3.40
Distrito Federal	5.20	1.10	8.60	2.70	3.30	0.70	2.60	14.50	16.70	3.00
Durango	30.60	2.30	7.10	4.40	2.00	0.90	1.10	9.50	17.20	4.60
Guanajuato	12.70	1.10	4.40	2.60	1.30	0.60	0.70	15.80	17.60	4.00
Guerrero	34.50	1.50	6.80	4.60	1.40	0.80	0.60	15.40	18.20	1.60
Hidalgo	38.00	1.20	7.10	4.90	1.50	0.80	0.70	11.20	19.40	4.50
Jalisco	14.10	0.80	4.90	2.70	1.50	0.60	0.90	15.80	19.50	3.10
México	8.50	0.50	3.40	2.10	0.90	0.40	0.50	11.50	19.80	4.50
Michoacán	24.60	1.20	5.70	3.70	1.40	0.70	0.70	10.60	20.10	2.60
Morelos	16.40	0.80	5.90	3.50	1.50	0.60	0.90	9.80	20.40	3.50
Nayarit	39.90	2.20	8.00	5.20	2.20	1.10	1.10	14.00	20.80	3.10
Nuevo León	12.80	0.60	5.00	2.60	1.30	0.40	0.90	10.20	20.80	2.00
Oaxaca	39.40	1.40	6.70	4.60	1.30	0.80	0.60	14.40	21.90	2.30
Puebla	18.10	1.10	4.60	2.70	1.10	0.50	0.60	10.10	21.90	1.90
Querétaro	17.10	0.50	5.20	2.80	1.40	0.60	0.80	10.80	22.80	2.30
Quintana Roo	16.10	1.40	4.40	1.40	1.20	0.50	0.70	11.80	23.30	2.80
San Luis Potosí	22.50	1.20	5.50	3.10	1.50	0.80	0.70	10.70	23.70	2.90
Sinaloa	17.10	1.30	5.60	3.10	1.60	0.70	0.90	11.10	24.50	2.80
Sonora	14.70	1.60	5.90	2.80	1.60	0.60	1.00	13.40	24.70	3.50
Tabasco	30.80	1.50	8.70	4.90	2.00	1.10	1.00	7.80	28.00	0.40
Tamaulipas	16.20	1.20	5.80	3.00	1.70	0.70	1.00	11.80	28.80	4.60
Tlaxcala	17.90	1.30	5.00	2.90	1.50	0.70	0.80	12.40	30.70	3.20
Veracruz	21.30	1.30	6.00	3.50	1.50	0.70	0.80	10.50	34.20	2.80
Yucatán	16.10	1.00	5.30	2.90	1.70	0.70	1.00	12.20	34.90	2.80
Zacatecas	31.30	1.80	7.60	4.50	1.70	0.90	0.80	19.00	44.90	3.20
EUM	18.00	1.10	5.50	3.10	1.50	0.60	0.90	12.30	25.90	3.10

- 1/ Unidades de consulta externa por 100 mil habitantes. Incluye unidades de primer nivel cuya función principal es proporcionar consulta externa. No incluye módulos urbanos del IMSS-Oportunidades
- 2/ Hospitales públicos por 100 mil habitantes. Incluye unidades híbridas
- 3/ Consultorios por 10 mil habitantes. Incluye los consultorios generales, de especialidad y otros, ubicados en las unidades médicas; excepto módulos urbanos del IMSS-Oportunidades
- 4/ Consultorios por 10 mil habitantes. Incluye los consultorios dedicados a la consulta externa o medicina familiar. No incluye módulos urbanos del IMSS-Oportunidades
- 5/ Médicos en contacto con el paciente por mil habitantes. Incluye médicos adscritos en unidades médicas y en formación (médicos generales, especialistas, pasantes, internos de pregrado y residentes)
- 6/ Médicos por mil habitantes. Incluye médicos generales, pasantes de medicina e internos de pregrado
- 7/ Médicos por mil habitantes. Incluye médicos especialistas, pasantes de odontología y residentes
- 8/ Incluye consultas generales y médicos generales en contacto con el paciente, utilizando 252 días como hábiles
- 9/ Tiempo promedio en minutos
- 10/ Cifras en pesos. El total de población no asegurada incluye a la SS e IMSS-Oportunidades y la población asegurada al IMSS, ISSSTE y PEMEX. Las poblaciones están contabilizadas a mitad de periodo

Fuente:

- *Informe de Rendición de Cuentas en Salud 2009.*

Tabla 27 Indicadores en cobertura en salud en municipios rurales del Estado de México (2009)

Municipio	Superficie	Densidad	Clasificación 1/	Unidades por habitante 2/	Consultorios por habitante 3/	Médicos por superficie 4/
Jiquipilco	308.5	223.8	Rural	1.6	2.0	0.5
Villa Victoria	423.8	222.7	Rural	2.0	2.9	0.6
Jilotepec	588.7	142.3	Rural	2.3	3.6	0.5
Texcaltitlán	147.5	117.9	Rural	2.3	2.3	0.3
Villa de Allende	311.6	153.1	Rural	2.3	2.9	0.4
Ocuilan	434.3	73.2	Rural	2.8	3.5	0.3
El Oro	136.8	251.9	Rural	2.9	4.1	1.0
San José del Rincón	494.1	184.9	Rural	3.1	3.9	0.7
Coatepec Harinas	284.5	127.1	Rural	3.3	4.4	0.6
Amanalco	220.0	104.0	Rural	3.5	4.4	0.5
Temascaltepec	558.6	58.8	Rural	3.7	4.6	0.3
Timilpan	177.0	86.9	Rural	3.9	6.5	0.6
Almoloya de Alquisiras	171.6	86.6	Rural	4.0	6.1	0.5
Santo Tomás	117.1	77.8	Rural	4.4	7.7	0.6
Sultepec	561.2	46.0	Rural	5.0	5.8	0.3
Tlatlaya	813.1	40.6	Rural	5.8	5.8	0.2
Zacualpan	301.1	50.2	Rural	6.0	6.0	0.3
Ixtapan del Oro	84.2	78.7	Rural	6.0	12.1	0.9
San Simón de Guerrero	131.9	47.5	Rural	8.0	6.4	0.3

- 1/ Se considera urbano si el 80% de la población vive en localidades urbanas, en caso contrario se clasifica como rural.
- 2/ Unidades de consulta externa por 10 mil habitantes. Unidades médicas del sector público en operación, actualizado a 2009
- 3/ Consultorios de consulta externa por 10 mil habitantes. Consultorios de consulta externa del sector público, actualizado a 2009
- 4/ Médicos generales por cada 10 kilómetros cuadrados.

Fuentes:

- *Secretaría de Salud. Base de datos de unidades médicas del sector. Sistema Nacional de Información en Salud (SINAIS). Consultada en Septiembre de 2011.*
- *INEGI. Integración territorial del conteo de población y vivienda (2010). Consultada en Septiembre de 2011.*
- *CONAPO. Proyecciones de la población de México 2005-2050. Consultada en Septiembre de 2011.*

ANEXO 2: MODELOS PROPUESTOS

Modelo A

Modelo de localización-asignación para evaluar la asignación de localidades a las unidades médicas existentes

Minimizar

$$W_1 \left(\frac{p_1}{Z} \right) + \frac{W_2}{P} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{n_{2jk}}{C_k} \right) \quad (\text{A.1})$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} + n_1 - p_1 = Z \quad (\text{A.2})$$

$$\alpha \leq \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{x_{ijk}}{a_i} - \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{x_{tjk}}{a_t} \leq \alpha \quad \forall i, \forall t \quad (\text{A.3})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} - C_k y_{jjk} + n_{2jk} - p_{2jk} = 0 \quad \forall j, \forall k \quad (\text{A.4})$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (\text{A.5})$$

$$y_{ijk} \leq y_{jjk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.6})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq C_k \quad \forall j, \forall k \quad (\text{A.7})$$

$$x_{ijk} \leq a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.8})$$

$$x_{ijk} \geq (\beta) a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.9})$$

$$d_{ij} y_{ijk} \leq s_k \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{A.10})$$

$$y_{jjk} = 1 \quad \forall j \in P \quad (\text{A.11})$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{jjk} = P \quad (\text{A.12})$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

$$x_{ijk} \geq 0, \text{ entero} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

Modelo B

Modelo de localización-asignación para evaluar la asignación de localidades a las unidades médicas existentes con opción de ampliar o abrir nuevas unidades médicas para satisfacer toda la demanda

Minimizar

$$W_1 \left(\frac{p_1}{Z} \right) + \frac{W_2}{U} \left(\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l \frac{n_{2jk}}{C_k} \right) + \frac{W_3}{U} \left(\frac{p_3}{\sum_{k=1}^l q_k p_k} \right) \quad (\text{B.1})$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} + n_1 - p_1 = Z \quad (\text{B.2})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} - C_k y_{jjk} + n_{2jk} - p_{2jk} = 0 \quad \forall j, \forall k \quad (\text{B.3})$$

$$\sum_{k=1}^l q_k \sum_{j=1}^n y_{jjk} + n_3 - p_3 = \sum_{k=1}^l q_k p_k \quad (\text{B.4})$$

$$\sum_{k=1}^l t_{jk} \sum_{i=1}^m x_{ijk} = 0 \quad \forall j \quad (\text{B.5})$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (\text{B.6})$$

$$y_{ijk} \leq y_{jjk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.7})$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq C_k \quad \forall j, \forall k \quad (\text{B.8})$$

$$x_{ijk} \leq a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.9})$$

$$x_{ijk} \geq (\beta) a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.10})$$

$$d_{ij} y_{ijk} \leq s_k \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (\text{B.11})$$

$$\sum_{k=1}^l y_{jjk} = 1 \quad \forall j \in P \quad (\text{B.12})$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

$$x_{ijk} \geq 0, \text{ entero} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

Modelo Z - Versión 1

Modelo utilizado para obtener una distancia total inicial como referencia para el modelo A

Minimizar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} \quad (Z.1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (Z.2)$$

$$y_{ijk} \leq y_{jjk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq C_k \quad \forall j, \forall k \quad (Z.4)$$

$$x_{ijk} \leq a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.5)$$

$$x_{ijk} \geq (\beta) a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.6)$$

$$d_{ij} y_{ijk} \leq s_k \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.7)$$

$$\sum_{k=1}^l y_{jjk} = 1 \quad \forall j \in P \quad (Z.8)$$

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{jjk} = P \quad (Z.9)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

$$x_{ijk} \geq 0, \text{ entero} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

Modelo Z - Versión 2

Modelo utilizado para obtener una distancia total inicial como referencia para el modelo B

Minimizar

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l d_{ij} x_{ijk} \quad (Z.1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^l y_{ijk} = 1 \quad \forall i \quad (Z.2)$$

$$y_{ijk} \leq y_{jjk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.3)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijk} \leq C_k \quad \forall j, \forall k \quad (Z.4)$$

$$x_{ijk} \leq a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.5)$$

$$x_{ijk} \geq (\beta) a_i y_{ijk} \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.6)$$

$$d_{ij} y_{ijk} \leq s_k \quad \forall i, \forall j, \forall k \quad (Z.7)$$

$$\sum_{k=1}^l y_{jjk} = 1 \quad \forall j \in P \quad (Z.8)$$

$$y_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

$$x_{ijk} \geq 0, \text{ entero} \quad \forall i, \forall j, \forall k$$

ANEXO 3: COMPARACIÓN DEL MODELO B CON INFRAESTRUCTURA FÍSICA EN SALUD AL 2011

MUNICIPIO	ID.	LOCALIDAD	IFS 2002	IFS 2011	Status	MODELO	Status
JILOTEPEC	1	JILOTEPEC DE MOLINA ENRIQUEZ	CS /H -UM	R03 - H -UM	↻▲	CS /H -UM*	•
JILOTEPEC	3	SAN PABLO HUANTEPEC				R01	▲
JILOTEPEC	7	PAJARITOS				R01	▲
JILOTEPEC	25	SAN JUAN ACAZUCHITLAN (SAN JUANICO)	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	27	ALDAMA	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	29	CALPULALPAN	R01	R03	↻	R01	•
JILOTEPEC	34	SALTILLITO, EL				R01	▲
JILOTEPEC	36	BUENAVISTA				R01	▲
JILOTEPEC	37	CANALEJAS	R01	R02	↻	R01	•
JILOTEPEC	40	COMUNIDAD, LA (COMUNIDAD)	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	45	DOXHICHO	R01	R02	↻	R01	•
JILOTEPEC	47	HUERTAS, LAS	R01	R02	↻	R01	•
JILOTEPEC	53	ROSAL, EL	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	58	SAN LORENZO NENAMICOYAN	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	60	AGUA ESCONDIDA		R01	▲		
JILOTEPEC	61	SAN LORENZO OCTEYUCO	R01	R01	•	R02	↻
JILOTEPEC	63	SAN MARTIN TUCHICUITLAPILCO (SAN MARTIN)	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	66	SAN MIGUEL DE LA VICTORIA	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	72	SANTIAGO OXTHOC	R01	R02	↻	R01	•
JILOTEPEC	75	DURAZNO DE CUAUHTEMOC, EL		R01	▲		
JILOTEPEC	77	XHIMOJAY	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	80	HUISACHE, EL	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	82	EJIDO SAN LORENZO OCTEYUCO (EJIDO OCTEYUCO)	R01	R01	•	R01	•
JILOTEPEC	89	TEUPAN	R01		▼	R01	•
JIQUIPILCO	1	JIQUIPILCO	R02	H -R03	↻▲	R02	•
JIQUIPILCO	14	BARRIO PRIMERO BUENOS AIRES	R01		▼	R01	•
JIQUIPILCO	16	BUENOS AIRES		R01	▲		
JIQUIPILCO	17	EL SANTUARIO DEL SEÑOR DEL CERRITO				R01	▲
JIQUIPILCO	18	LOMA DE HIDALGO	R01	R01	•	R01	•
JIQUIPILCO	21	EJIDO LOMA DE MALACOTA (LOMA DE MALACOTA)	R01	R02	↻	R01	•
JIQUIPILCO	22	SAN ANTONIO NIXINI		R01	▲	R01	▲
JIQUIPILCO	24	MOXTEJE	R01	R01	•	R01	•
JIQUIPILCO	27	PORTEZUELO	R01	R01	•	R01	•
JIQUIPILCO	29	SAN MIGUEL YUXTEPEC		R01	▲		
JIQUIPILCO	31	SAN BARTOLO OXTOTITLÁN	R01	R02	↻	R02	↻
JIQUIPILCO	35	SAN FELIPE SANTIAGO	R01	R02	↻	R02	↻
JIQUIPILCO	41	SAN JOSÉ DEL SITIO	R01	R01	•	R01	•

JIQUIPILCO	43	PRIMERA MANZANA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN	R02	R02	•	R02	•
JIQUIPILCO	44	TIERRA BLANCA				R01	▲
JIQUIPILCO	46	MANZANA CUARTA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN				R02	▲
JIQUIPILCO	50	SANTA MARÍA NATIVITAS	R01	R02	☺	R01	•
JIQUIPILCO	52	EJIDO LLANO GRANDE (PLANTA PILOTO)	R01	R01	•	R01	•
JIQUIPILCO	54	MANZANA QUINTA (LA CAÑADA)	R01	R01	•	R01	•
JIQUIPILCO	55	LOMA DE ENDOTZI (MANZANA SEXTA)				R02	▲
JIQUIPILCO	58	MANZANA SEXTA PARTE BAJA	R01	R02	☺	R01	•
TEXCALTITLÁN	1	TEXCALTITLÁN	R02	H	☺	R02	•
TEXCALTITLÁN	4	CARBAJAL	R01	R01	•	R01	•
TEXCALTITLÁN	5	EL CHAPANEAL				R01	▲
TEXCALTITLÁN	8	HUEYATENCO		R01	▲		
TEXCALTITLÁN	12	PALMILLAS	R01	R01	•	R01	•
TEXCALTITLÁN	13	SAN AGUSTÍN	R01	R01	•	R01	•
TEXCALTITLÁN	17	TEXCAPILLA				R01	▲
VILLA DE ALLENDE	1	SAN JOSE VILLA DE ALLENDE	R01	CEAPS	☺	R01	•
VILLA DE ALLENDE	8	CUESTA DEL CARMEN	R01	R01	•	R01	•
VILLA DE ALLENDE	10	JACAL, EL	R01	R01	•	R01	•
VILLA DE ALLENDE	13	LOMA DE JUAREZ	R02	R02	•	R02	•
VILLA DE ALLENDE	15	SABANA DEL ROSARIO (SAN MIGUEL)	R01	R01	•	R01	•
VILLA DE ALLENDE	18	SABANA TABORDA PRIMERA SECCION	R01	R01	•	R01	•
VILLA DE ALLENDE	22	SAN FELIPE SANTIAGO	R01	R01	•	R02	☺
VILLA DE ALLENDE	24	SAN JERONIMO TOTOLTEPEC	R01	R01	•	R02	☺
VILLA DE ALLENDE	27	BERROS (LOS BERROS)				R01	▲
VILLA DE ALLENDE	39	SAN JUAN BUENAVISTA (LODO PRIETO)	UM	CS - UM	▲	R01*	☺
VILLA DE ALLENDE	44	SAN PABLO MALACATEPEC	R01	R01	•	R01	•
VILLA DE ALLENDE	49	SAN ILDEFONSO				R01	▲
VILLA DE ALLENDE	50	SANTA TERESA	UM	CS - UM	▲	R02*	☺
VILLA DE ALLENDE	51	VARE CHIQUICHUCA				R01	▲
VILLA VICTORIA	1	VILLA VICTORIA	CS/H	H	☺	CS/H*	•
VILLA VICTORIA	5	PUERTA DEL PILAR, LA				R01	▲
VILLA VICTORIA	14	CASAS COLORADAS	UM	R01	☺	R02*	☺
VILLA VICTORIA	16	SAN AGUSTIN BERROS		CS - UM	▲	R01	▲
VILLA VICTORIA	28	CEDROS, LOS	R02	R02	•	R02	•
VILLA VICTORIA	31	SAN DIEGO DEL CERRITO 1A. SECCION				R01	▲
VILLA VICTORIA	37	DOLORES VAQUERIAS	R01	R01	•	R01	•
VILLA VICTORIA	38	HOSPITAL, EL (SAN ANTONIO EL HOSPITAL)	R01	R01	•	R01	•
VILLA VICTORIA	39	HOSPITAL PROPIEDAD				R01	▲
VILLA VICTORIA	41	PROPIEDAD LAGUNA SECA	UM	CS - UM	▲	R01*	☺
VILLA VICTORIA	43	SITIO CENTRO, EL (EL SITIO)				R01	▲
VILLA VICTORIA	48	SAN LUIS LA MANZANA	UM	R01	☺	R01*	☺

VILLA VICTORIA	52	PALIZADA	R01	R01	•	R01	•
VILLA VICTORIA	61	SAN AGUSTIN CANOHILLAS 2A. SECCION	R01	R01	•	R01	•
VILLA VICTORIA	63	SAN DIEGO SUCHITEPEC	R02	R01	↻	R02	•
VILLA VICTORIA	73	SAN LUIS EL ALTO	R01	R01	•	R01	•
VILLA VICTORIA	74	SAN MARCOS DE LA LOMA	R02	R02	•	R02	•
VILLA VICTORIA	81	EJIDO DE LAGUNA SECA				R02	▲
VILLA VICTORIA	83	SANTIAGO DEL MONTE	R02	R02	•	R01	↻
VILLA VICTORIA	85	EJIDO DEL SITIO LOMAS DE GUADALUPE	R01	R01	•	R01	•
VILLA VICTORIA	87	TURCIO SEGUNDA SECCION	R01	R01	•	R01	↻
VILLA VICTORIA	90	MINA VIEJA				R01	▲
VILLA VICTORIA	91	CENTRO DEL CERRILLO	R01	R01	•	R01	•
VILLA VICTORIA	95	SAN AGUSTIN ALTAMIRANO	R01	R02	↻	R01	•
VILLA VICTORIA	104	SAN ANTONIO DEL RINCON	R01-UM	R01	▼	R01-UM*	•
VILLA VICTORIA	110	CAPULIN, EL		UM- CS	▲		

* Las unidades móviles se tomaron en el modelo como R01

▲ Apertura

▼ Cierre

↻ Modificación

• Sin cambio

■ Similitud en IFS 2011 y el modelo

ANEXO 4: CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE LOS MODELOS EN GAMS

Los siguientes códigos de programación son aplicados al municipio de Villa de Allende.

Modelo A. Villa de Allende

```

sets
i puntos de demanda /1*59/
j sitios candidatos /1*59/
k tipos de instalación /1*3/
xy coordinads x,y /1,2/;
alias(i,l);

parameters c(k) Capacidad de atención de la unidad médica tipo k;
$libinclud xliimport c actual.xlsx Data!C5:E6
parameters s(k) Distancia máxima de cobertura para la instalación tipo k;
$libinclud xliimport s actual.xlsx Data!C9:E10
parameters q(k) Costo por abrir la instalación tipo k;
$libinclud xliimport q actual.xlsx Data!C13:E14
scalar Cob Factor que determina el nivel de demanda asignado mínimo;
$libinclud xliimport Cob actual.xlsx VA!V27
parameters p(k) Cantidad de instalaciones tipo k que se van a abrir;
$libinclud xliimport p actual.xlsx VA!D7:F8
parameters a(i) Demanda del servicio médico en el nodo i;
$libinclud xliimport a actual.xlsx VA!D13:BJ14
parameters d1(xy,i) coordenadas xy del nodo i ;
$libinclud xliimport d1 actual.xlsx VA!C17:BJ19
parameters d(i,l) Distancia que existe entre el nodo de demanda i y el nodo de servicio j;
d(i,l)= sqrt( sqrt( d1('1',i)-d1('1',l) )+ sqrt( d1('2',i)-d1('2',l) ) );
scalar w1 Peso asociada al objetivo de minimizar la distancia;
$libinclud xliimport w1 actual.xlsx VA!S27
scalar w2 Peso asociado al objetivo de maximizar la capacidad utilizada;
$libinclud xliimport w2 actual.xlsx VA!T27
scalar P1 Número de unidades abiertas ;
$libinclud xliimport P1 actual.xlsx VA!G3
scalar Z1 Distancia máxima de cobertura ;
$libinclud xliimport Z1 actual.xlsx VA!J3

Variables y(i,j,k), x(i,j,k),n1,p1, n2(l,j,k) , p2(l,j,k), z ;
integer variable x(i,j,k);
Binary Variable y(i,j,k);
Positive variable n1,p1, n2(l,j,k) , p2(l,j,k) ;

Equations
FO, R2, R31(i,l), R32(i,l), R4(l,j,k), R5(i), R6(i,l, j,k), R7(j,k), R8(i,j,k), R91(i,j,k), R10(i,j,k,l),
R11A1, R11A2, R11A3, R11A4, R11A5, R11A6, R11A7, R11A8, R11A9, R11A10, R11A11,
R12;

FO.. z =e= W1*p1/ Z1+ (W2/ P1)*sum((k,l,j)$ (ord(l)=ord(j)),n3(l,j,k)/c(k));
R2.. sum((i,j,k,l)$ (ord(j)=ord(l)),(d(i,l))*(x(i,j,k))) + n1 - p1=e= Z1;
R31(i,l)$ ( ord(i) NE ord(l)).. Sum((j,k), x(i,j,k)/a(i) ) - Sum((j,k), x(l,j,k)/a(l) ) =l= 0.05;
R32(i,l)$ ( ord(i) NE ord(l)).. Sum((j,k), x(i,j,k)/a(i) ) - Sum((j,k), x(l,j,k)/a(l) ) =g= -0.05;
R4(l,j,k)$ (ord(l)=ord(j)).. Sum(i,x(i,j,k))-round(Cap*c(k))*y(l,j,k) + n2(l,j,k) - p2(l,j,k)=e= 0;
R5(i).. sum((j,k), y(i,j,k) ) =e= 1;
R6(i,l, j,k)$ (ord(l)=ord(j)).. y(i,j,k) - y(l,j,k) =l= 0;
R7(j,k).. sum(i,x(i,j,k))=l= c(k);
R8(i,j,k).. x(i,j,k)-a(i)*y(i,j,k) =l= 0 ;
R91(i,j,k).. x(i,j,k)-Cob*a(i)*y(i,j,k) =g= 0 ;
R10(i,j,k,l)$ (ord(l)=ord(j)).. d(i,l)*y(i,j,k) =l= s(k);

```

```

R11A1..      y('1','1','1') =e= 1;
R11A2..      y('8','8','1') =e= 1;
R11A3..      y('10','10','1') =e= 1;
R11A4..      y('13','13','2') =e= 1;
R11A5..      y('15','15','1') =e= 1;
R11A6..      y('18','18','1') =e= 1;
R11A7..      y('22','22','1') =e= 1;
R11A8..      y('24','24','1') =e= 1;
R11A9..      y('39','39','2') =e= 1;
R11A10..     y('44','44','1') =e= 1;
R11A11..     y('50','50','2') =e= 1;
R12..        sum((l,j,k)$ (ord(l)=ord(j)), y(l,j,k) ) =e= P1;
Model VAA /all;
x.up(i,j,k) = 50000 ;
solve VAA using mip minimizing z;
Display y.l, x.l, z.l ;

```

Modelo B. Villa de Allende

```

sets
i puntos de demanda /1*59/
j sitios candidatos /1*59/
k tipos de instalación /1*3/
xy coordinads x,y /1,2/;
alias(i,l);

parameters c(k) Capacidad de atención de la unidad médica tipo k;
$libinclude xlexport c actual.xlsx Data!C5:E6
parameters s(k) Distancia máxima de cobertura para la instalación tipo k;
$libinclude xlexport s actual.xlsx Data!C9:E10
parameters q(k) Costo por abrir la instalación tipo k;
$libinclude xlexport q actual.xlsx Data!C13:E14
scalar Cob Factor que determina el nivel de demanda asignado mínimo;
$libinclude xlexport Cob actual.xlsx VA!V27
parameters p(k) Cantidad de instalaciones tipo k que se van a abrir;
$libinclude xlexport p actual.xlsx VA!D7:F8
parameters a(i) Demanda del servicio médico en el nodo i;
$libinclude xlexport a actual.xlsx VA!D13:BJ14
parameters d1(xy,i) coordenadas xy del nodo i ;
$libinclude xlexport d1 actual.xlsx VA!C17:BJ19
parameters d(i,l) Distancia que existe entre el nodo de demanda i y el nodo de servicio j;
d(i,l)= sqrt( sqrt( d1('1',i)-d1('1',l) )+ sqrt( d1('2',i)-d1('2',l) ) );
parameters t(j,k) Matriz de asignación de unidades rurales y urbanas;
$libinclude xlexport d1 actual.xlsx VA!BL17:BO77
scalar w1 Peso asociada al objetivo de minimizar la distancia;
$libinclude xlexport w1 actual.xlsx VA!S27
scalar w2 Peso asociado al objetivo de maximizar la capacidad utilizada;
$libinclude xlexport w2 actual.xlsx VA!T27
scalar w3 Peso asociado al costo por abrir nuevas unidades;
$libinclude xlexport w3 actual.xlsx VA!U27
scalar U Número de unidades recomendadas a abrir por km a la redonda ;
$libinclude xlexport U actual.xlsx VA!G3
scalar Z2 Distancia máxima de cobertura ;
$libinclude xlexport Z2 actual.xlsx VA!J3

Variables y(i,j,k), x(i,j,k),n1,p1,n2,p2,n3(l,j,k),p3(l,j,k), z ;
integer variable x(i,j,k);
Binary Variable y(i,j,k);
Positive variable n1,p1,n2,p2,n3(l,j,k),p3(l,j,k) ;
Equations

```

FO, R2, R3(1,j,k), R4, R5(j), R6(i), R7(i,l, j,k), R8(j,k), R9(i,j,k), R10(i), R11(i,j,k,l), R12A1, R12A2, R12A3, R12A4, R12A5, R12A6, R12A7, R12A8, R12A9, R12A10, R12A11, R12A12, R12A13;

FO.. $z=e=(W1)*p1/Z2 + (W3/U)*p2/(\text{sum}(k,q(k)*p(k)))+(W2/U)*\text{sum}((k,l,j)\$(\text{ord}(l)=\text{ord}(j)),n3(1,j,k)/c(k));$
R2.. $\text{sum}((i,j,k,l)\$(\text{ord}(j)=\text{ord}(l)),d(i,l))*(x(i,j,k))) + n1 - p1 =e= Z2;$
R3(1,j,k)\$(\text{ord}(l)=\text{ord}(j)).. $\text{Sum}(i,x(i,j,k))-\text{round}(\text{Cap}*c(k))*y(1,j,k) + n3(1,j,k) - p3(1,j,k) =e= 0;$
R4.. $\text{sum}(k,q(k)*(\text{sum}((i,j)\$(\text{ord}(i)=\text{ord}(j)),y(i,j,k)))) + n2 - p2 =e= \text{sum}(k,q(k)*p(k));$
R5(j).. $\text{sum}(k, t(j,k)*\text{sum}(i,x(i,j,k))) =e= 0;$
R6(i).. $\text{sum}((j,k), y(i,j,k)) =e= 1;$
R7(i,l, j,k)\$(\text{ord}(l)=\text{ord}(j)).. $y(i,j,k) - y(l,j,k) =l= 0;$
R8(j,k).. $\text{sum}(i,x(i,j,k))=l= c(k);$
R9(i,j,k).. $x(i,j,k)-a(i)*y(i,j,k) =l= 0 ;$
R10(i).. $\text{Sum}((j,k),x(i,j,k)) =g= \text{round}((0.95)*a(i));$
R11(i,j,k,l)\$(\text{ord}(l)=\text{ord}(j)).. $d(i,l)*y(i,j,k) =l= s(k);$
R12A1.. $\text{sum}(k, y('1','1',k))=e= 1;$
R12A2.. $\text{sum}(k, y('8','8',k))=e= 1;$
R12A3.. $\text{sum}(k, y('10','10',k))=e= 1;$
R12A4.. $\text{sum}(k, y('13','13',k))=e= 1;$
R12A5.. $\text{sum}(k, y('15','15',k))=e= 1;$
R12A6.. $\text{sum}(k, y('18','18',k))=e= 1;$
R12A7.. $\text{sum}(k, y('22','22',k))=e= 1;$
R12A8.. $\text{sum}(k, y('24','24',k))=e= 1;$
R12A9.. $\text{sum}(k, y('39','39',k))=e= 1;$
R12A10.. $\text{sum}(k, y('44','44',k))=e= 1;$
R12A11.. $\text{sum}(k, y('50','50',k))=e= 1;$
R12A12.. $y('50','50','1') =e= 0;$
R12A13.. $y('13','13','1') =e= 0;$

Model VAB /all/;

x.up(i,j,k) = 50000 ;

solve VAB using mip minimizing z;

Display y.l, x.l, z.l ;

Modelo Z - Versión 1. Villa de Allende

sets

i puntos de demanda /1*59/

j sitios candidatos /1*59/

k tipos de instalación /1*3/

xy coordenads x,y /1,2/;

alias(i,l);

parameters c(k) Capacidad de atención de la unidad médica tipo k;

\$libinclude xlexport c actual.xlsx Data!C5:E6

parameters s(k) Distancia máxima de cobertura para la instalación tipo k;

\$libinclude xlexport s actual.xlsx Data!C9:E10

parameters q(k) Costo por abrir la instalación tipo k;

\$libinclude xlexport q actual.xlsx Data!C13:E14

scalar Cob Factor que determina el nivel de demanda asignado mínimo;

\$libinclude xlexport Cob actual.xlsx VA!L27

parameters p(k) Cantidad de instalaciones tipo k que se van a abrir;

\$libinclude xlexport p actual.xlsx VA!D7:F8

parameters a(i) Demanda del servicio médico en el nodo i;

\$libinclude xlexport a actual.xlsx VA!D13:BJ14

parameters d1(xy,i) coordenadas xy del nodo i ;

\$libinclude xlexport d1 actual.xlsx VA!C17:BJ19

parameters $d(i,l)$ Distancia que existe entre el nodo de demanda i y el nodo de servicio j ;
 $d(i,l) = \sqrt{(\text{sqr}(d1('1',i)-d1('1',l)) + \text{sqr}(d1('2',i)-d1('2',l)))}$);

Variables $y(i,j,k)$, $x(i,j,k)$, z ;

integer variable $x(i,j,k)$;

Binary Variable $y(i,j,k)$;

Equations

FO, R2(i), R3(i,l,j,k), R4 (j,k), R5(i,j,k), R6(i,j,k,l), R7(i), R8

RA1, RA2, RA3, RA4, RA5, RA6, RA8, RA9, RA10, RA11;

FO.. $z = e = \text{sum}((i,j,k,l) \$(\text{ord}(j)=\text{ord}(l)) , d(i,l)) * (x(i,j,k))$);

R2(i).. $\text{sum}((j,k) , y(i,j,k)) = e = 1$;

R3(i,l, j,k)\$(ord(l)=ord(j)) .. $y(i,j,k) - y(l,j,k) = l = 0$;

R4(j,k) .. $\text{sum}(i, x(i,j,k)) = l = c(k)$;

R5(i,j,k).. $x(i,j,k) - a(i) * y(i,j,k) = l = 0$;

R6(i,j,k,l)\$(ord(j)=ord(l)).. $d(i,l) * y(i,j,k) = l = s(k)$;

R7(i).. $\text{sum}((j,k), x(i,j,k)) = g = \text{round}(\text{Cob} * a(i))$;

R8.. $\text{sum}((l,j,k) \$(\text{ord}(l)=\text{ord}(j)) , y(l,j,k)) = e = 11$;

RA1.. $y('1','1','1') = e = 1$;

RA2.. $y('8','8','1') = e = 1$;

RA3.. $y('10','10','1') = e = 1$;

RA4.. $y('13','13','2') = e = 1$;

RA5.. $y('15','15','1') = e = 1$;

RA6.. $y('18','18','1') = e = 1$;

RA7.. $y('22','22','1') = e = 1$;

RA8.. $y('24','24','1') = e = 1$;

RA9.. $y('39','39','2') = e = 1$;

RA10.. $y('44','44','1') = e = 1$;

RA11.. $y('50','50','2') = e = 1$;

Model VAZ1 /all/;

$x.\text{up}(i,j,k) = 50000$;

solve VAZ1 using mip minimizing z;

Display y.l, x.l, z.l ;

Modelo Z - Versión 2. Villa de Allende

sets

i puntos de demanda /1*59/

j sitios candidatos /1*59/

k tipos de instalación /1*3/

xy coordenads x,y /1,2/;

$\text{alias}(i,l)$;

parameters $c(k)$ Capacidad de atención de la unidad médica tipo k ;

\$!bininclude xlmport c actual.xlsx Data!C5:E6

parameters $s(k)$ Distancia máxima de cobertura para la instalación tipo k ;

\$!bininclude xlmport s actual.xlsx Data!C9:E10

parameters $q(k)$ Costo por abrir la instalación tipo k ;

\$!bininclude xlmport q actual.xlsx Data!C13:E14

scalar Cob Factor que determina el nivel de demanda asignado mínimo;

\$!bininclude xlmport Cob actual.xlsx VA!V27

parameters $p(k)$ Cantidad de instalaciones tipo k que se van a abrir;

\$!bininclude xlmport p actual.xlsx VA!D7:F8

parameters $a(i)$ Demanda del servicio médico en el nodo i ;

\$!bininclude xlmport a actual.xlsx VA!D13:BJ14

parameters $d1(xy,i)$ coordenadas xy del nodo i ;

\$!bininclude xlmport d1 actual.xlsx VA!C17:BJ19

parameters $d(i,l)$ Distancia que existe entre el nodo de demanda i y el nodo de servicio j ;

$d(i,l) = \sqrt{(\text{d1}'(1,i) - \text{d1}'(1,l))^2 + (\text{d1}'(2,i) - \text{d1}'(2,l))^2}$;

scalar $w1$ Peso asociada al objetivo de minimizar la distancia;

\$libinclude xlmport w1 actual.xlsx VA!S27

scalar $w2$ Peso asociado al objetivo de maximizar la capacidad utilizada;

\$libinclude xlmport w2 actual.xlsx VA!T27

scalar U Número de unidades abiertas ;

\$libinclude xlmport U actual.xlsx VA!G3

scalar $Z1$ Distancia máxima de cobertura ;

\$libinclude xlmport Z1 actual.xlsx VA!J3

scalar $I1$ Número de localidades ;

$I1 = \text{card}(i)$;

Variables $y(i,j,k)$, $x(i,j,k)$, z ;

integer variable $x(i,j,k)$;

Binary Variable $y(i,j,k)$;

Equations

FO, R2(i), R3(i,l,j,k), R4(j,k), R51(i,j,k), R6(i,j,k), R7(i,j,k,l), R8A1, R8A2, R8A3, R8A4, R8A5, R8A6, R8A7, R8A8, R8A9, R8A10, R8A11, R8A12, R8A13;

FO.. $z = e = \sum_{(i,j,k,l) \mid \text{ord}(j) = \text{ord}(l)} (d(i,l)) * (x(i,j,k))$;

R2(i).. $\sum_{(j,k)} y(i,j,k) = e = 1$;

R3(i,l,j,k)\$(ord(l)=ord(j)).. $y(i,j,k) - y(l,j,k) = l = 0$;

R4(j,k).. $\sum_{(i)} x(i,j,k) = l = c(k)$;

R51(i,j,k).. $x(i,j,k) - a(i) * y(i,j,k) = l = 0$;

R6(i,j,k).. $x(i,j,k) - \text{round}(\text{Cob} * a(i)) * y(i,j,k) = g = 0$;

R7(i,j,k,l)\$(ord(j)=ord(l)).. $d(i,l) * y(i,j,k) = l = s(k)$;

R8A1.. $\sum_{(k)} y('1','1',k) = e = 1$;

R8A2.. $\sum_{(k)} y('8','8',k) = e = 1$;

R8A3.. $\sum_{(k)} y('10','10',k) = e = 1$;

R8A4.. $\sum_{(k)} y('13','13',k) = e = 1$;

R8A5.. $\sum_{(k)} y('15','15',k) = e = 1$;

R8A6.. $\sum_{(k)} y('18','18',k) = e = 1$;

R8A7.. $\sum_{(k)} y('22','22',k) = e = 1$;

R8A8.. $\sum_{(k)} y('24','24',k) = e = 1$;

R8A9.. $\sum_{(k)} y('39','39',k) = e = 1$;

R8A10.. $\sum_{(k)} y('44','44',k) = e = 1$;

R8A11.. $\sum_{(k)} y('50','50',k) = e = 1$;

R8A12.. $y('50','50','1') = e = 0$;

R8A13.. $y('13','13','1') = e = 0$;

Model VAZ2 /all/;

$x.\text{up}(i,j,k) = 50000$;

solve VAZ2 using mip minimizing z;

Display y.l, x.l, z.l ;

ANEXO 5: RESULTADOS DE LOS MODELOS

En la siguientes tablas se muestran la asignación por localidad en cada municipio obtenidas a partir de los modelos y la asignación del ERO, se comparan las distancias recorridas por la población asignada y total para ambos casos.

A continuación se describen los campos utilizados en las tablas:

- (1) Es la clave de la localidad utilizada en el ERO y en los reportes de Integración Territorial del INEGI.
- (2) Nombre de la localidad.
- (3) Coordenadas UTM obtenidas a partir de las coordenadas geográficas.
- (4) Resultados de la asignación realizada por el modelo:
 - Columna i: indica la numeración utilizada en el modelo, correspondiente a la localidad de cada renglón.
 - Columna j: indica la localidad a la que fue asignada la localidad i, en donde se encuentra una unidad médica.
 - Columna k: corresponde al tipo de unidad médica que se ubica en la localidad j.
- (5) Población asignada en el modelo.
- (6) Población total de la localidad.
- (7) Distancia total recorrida por la población asignada de acuerdo al modelo.
- (8) Distancia total recorrida por la población total de acuerdo al modelo.
- (9) Indica la localidad a la que fue asignada la localidad i, y en donde se encuentra una unidad médica de acuerdo al ERO.
- (10) Distancia total recorrida por la población asignada de acuerdo al ERO.
- (11) Distancia total recorrida por la población total de acuerdo al ERO.

Resultados obtenidos del Modelo A por municipio

JIQUIPILCO MODELO A

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO				
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)		
1	JIQUIPILCO	436,246	2,162,413	1	1	2	1007	1363	0	0	1	0	0		
16	LA PASTORA	431,960	2,161,722	2	24	1	160	250	453,286	708,259	1	694,641	1,085,377		
26	SANTA ISABEL	434,344	2,160,392	3	24	1	252	393	942,883	1,470,448	1	699,441	1,090,795		
33	MANZANA CUARTA	435,601	2,161,278	4	1	2	1	1	1,306	1,306	1	1,306	1,306		
61	MANZANA PRIMERA LA CAPILLA	436,505	2,161,429	5	54	1	1102	1571	1,207,157	1,720,911	1	1,121,843	1,599,288		
62	MANZANA SEGUNDA	437,795	2,163,791	6	50	1	563	879	1,250,073	1,951,713	1	1,167,229	1,822,370		
63	MANZANA TERCERA PANTHÉ	435,494	2,163,922	7	1	2	628	982	1,058,809	1,655,654	1	1,058,809	1,655,654		
65	SAN ISIDRO	433,999	2,161,499	8	24	1	168	262	434,869	678,189	1	407,549	635,582		
91	MANZANA TERCERA (BODO)	436,864	2,164,133	9	50	1	45	70	61,803	96,138	1	82,210	127,883		
9002-98	EL PEDREGAL	436,246	2,162,413	10	1	2	1033	1399	0	0	1	0	0		
9003-98	HACIENDA SANTA ISABEL	434,344	2,160,392	11	27	1	54	83	177,597	272,973	1	149,880	230,371		
15-87	VISTA HERMOSA	437,629	2,158,013	12	58	1	301	470	736,931	1,150,690	1	1,388,472	2,168,046		
2	RANCHO ALEGRE	428,351	2,170,128	13	14	1	39	61	93,770	146,666	14	93,770	146,666		
4	BARRIO PRIMERO BUENOS AIRES	430,740	2,170,395	14	14	1	163	221	0	0	14	0	0		
6	DOLORES AMARILLAS	425,905	2,170,384	15	41	1	511	798	2,320,929	3,624,465	14	2,470,745	3,858,423		
67	BUENOS AIRES	429,862	2,169,261	16	14	1	1144	1788	1,640,813	2,564,488	14	1,640,813	2,564,488		
68	EL SANTUARIO DEL SEÑOR DEL CERRITO	426,951	2,162,633	17	24	1	1144	1788	7,745,184	12,105,236	14	9,881,306	15,443,859		
8	LOMA DE HIDALGO	431,921	2,166,764	18	18	1	1278	1853	0	0	18	0	0		
11	LOMA DE SAN FELIPE	429,935	2,165,542	19	24	1	282	441	1,108,112	1,732,899	18	657,519	1,028,247		
9004-98	LA PALMA	431,921	2,166,764	20	18	1	114	155	0	0	18	0	0		
10	EJIDO LOMA DE MALACOTA (LOMA DE MALACOTA)	429,822	2,173,965	21	21	1	1351	1871	0	0	21	0	0		
18	SAN ANTONIO NIXINI	427,673	2,175,326	22	21	1	682	1065	1,735,121	2,709,536	21	1,735,121	2,709,536		
12	LOMA VICENTE GUERRERO	432,002	2,165,319	23	18	1	271	423	392,241	612,244	24	546,300	852,712		
15	MOXTEJE	433,571	2,164,052	24	24	1	333	466	0	0	24	0	0		
35	EJIDO DE SANTA MARÍA NATIVITAS	434,586	2,162,758	25	1	2	506	791	857,663	1,340,735	24	832,491	1,301,384		
83	LAS GOLONDRINAS	433,860	2,163,437	26	24	1	61	94	41,500	63,951	24	41,500	63,951		
17	PORTEZUELO	431,222	2,159,358	27	27	1	609	828	0	0	27	0	0		
23	SAN MARTÍN MORELOS	428,426	2,159,707	28	21	1	288	450	811,641	1,268,189	27	811,641	1,268,189		
24	SAN MIGUEL YUXTEPEC	425,282	2,160,673	29	27	1	622	972	3,784,145	5,913,487	27	3,784,145	5,913,487		
50	LOMA DEL MADROÑO	432,274	2,159,969	30	27	1	188	294	228,614	357,513	27	228,614	357,513		
19	SAN BARTOLO OXTOTITLÁN	435,456	2,169,548	31	31	1	2400	3690	0	0	31	0	0		
32	LOMA HERMOSA	433,917	2,170,998	32	14	1	443	692	1,432,530	2,237,722	31	936,639	1,463,102		
59	LA NOPALERA	432,435	2,171,803	33	14	1	123	192	270,965	422,969	31	463,675	723,786		
73	MANZANA QUINTA DE SAN BARTOLO OXTOTITLÁN	435,045	2,168,750	34	50	1	315	492	1,135,742	1,773,921	31	282,632	441,444		
20	SAN FELIPE SANTIAGO	431,926	2,168,178	35	35	1	2400	3756	0	0	35	0	0		
28	RANCHERÍA DE SILA (EJIDO DE SILA)	432,227	2,170,820	36	14	1	179	280	276,826	433,024	35	476,065	744,683		
51	COLONIA MORELOS	431,726	2,169,346	37	14	1	309	455	444,903	655,116	35	366,399	539,520		
60	COLONIA BENITO JUÁREZ SAN FELIPE SANTIAGO	432,688	2,169,343	38	18	1	378	591	1,017,155	1,590,314	35	526,226	822,750		
3	BÓXIMO	426,505	2,167,492	39	41	1	43	66	136,064	208,842	41	136,064	208,842		
9	LOMA DEL ASTILLERO	429,381	2,165,605	40	41	1	671	1049	1,495,466	2,337,919	41	1,495,466	2,337,919		
22	SAN JOSÉ DEL SITIO	429,652	2,167,818	41	41	1	1175	1689	0	0	41	0	0		
21	SAN FRANCISCO EL ALTO	423,971	2,167,687	42	43	2	253	395	1,130,361	1,764,793	43	1,130,361	1,764,793		
25	PRIMERA MANZANA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN	426,286	2,163,866	43	43	2	698	1090	0	0	43	0	0		
58	TIERRA BLANCA	428,414	2,164,072	44	52	1	785	1226	1,374,250	2,146,281	43	1,678,225	2,621,024		
69	SECCIÓN DEL CERRITO	428,379	2,162,658	45	27	1	272	425	1,184,818	1,851,277	43	657,240	1,026,938		
71	MANZANA CUARTA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN	425,058	2,162,949	46	43	2	2233	3489	3,421,751	5,346,390	43	3,421,751	5,346,390		
72	MANZANA TERCERA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN	426,460	2,163,558	47	43	2	1616	2525	571,469	892,920	43	571,469	892,920		
5	RANCHO COLORADO	435,473	2,166,259	48	50	1	281	404	330,206	474,744	50	330,206	474,744		
14	RANCHERÍA DE MAÑÍ (EX-HACIENDA DE MAÑÍ)	433,579	2,166,204	49	18	1	359	561	628,365	981,930	50	990,729	1,548,186		
27	SANTA MARÍA NATIVITAS	436,198	2,165,334	50	50	1	1196	1619	0	0	50	0	0		
13	EJIDO DE MAÑÍ	430,013	2,163,267	51	52	1	520	813	469,698	734,354	52	469,698	734,354		
29	EJIDO LLANO GRANDE (PLANTA PILOTO)	430,162	2,164,158	52	52	1	1095	1541	0	0	52	0	0		
52	LAS PALOMITAS (PUERTO JIQUIPILLI)	440,269	2,162,891	53	54	1	31	48	102,903	159,334	54	102,903	159,334		
64	MANZANA QUINTA (LA CAÑADA)	437,523	2,161,026	54	54	1	1267	1715	0	0	54	0	0		
7	LOMA DE ENDOTZI (MANZANA SEXTA)	437,050	2,158,999	55	58	1	1752	2718	3,115,457	4,833,226	58	3,115,457	4,833,226		
42	EL JARAL (TIERRA MONTÓN)	434,221	2,158,548	56	27	1	367	573	1,140,085	1,780,023	58	1,589,882	2,482,296		
49	HACIENDA NIXINI	428,203	2,176,799	57	21	1	367	573	1,198,064	1,870,547	58	7,033,166	10,980,938		
74	MANZANA SEXTA PARTE BAJA	438,133	2,160,409	58	58	1	347	470	0	0	58	0	0		
Total							36,775	55,219	47,961,526	74,641,336	55,269,597	86,072,315			

JILOTEPEC MODELO A

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	K*					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	JILOTEPEC DE MOLINA ENRIQUEZ	444,078	2,206,498	1	1	4	1	1	0	0	1	0	0
9	COSCOMATE DEL PROGRESO (COSCOMATE)	445,844	2,204,249	2	1	4	983	1198	2,811,398	3,426,302	1	2,811,398	3,426,302
28	SAN PABLO HUANTEPEC	448,587	2,207,929	3	1	4	1581	1928	7,479,887	9,121,583	1	7,479,887	9,121,583
57	GIRASOL, EL	447,829	2,207,132	4	72	1	69	83	1,227,562	1,476,633	1	262,522	315,787
60	LAGUNA, LA	446,844	2,208,334	5	80	1	83	101	312,333	380,067	1	275,603	335,372
66	MANZANILLA, LA	446,109	2,205,385	6	1	4	243	296	562,833	685,591	1	562,833	685,591
74	PAJARITOS	441,340	2,204,847	7	45	1	243	296	323,212	393,707	1	776,894	946,340
79	QUICHI, EL	444,895	2,207,572	8	1	4	70	85	94,432	114,668	1	94,432	114,668
105	XHITEY, EL	444,756	2,209,601	9	1	4	345	420	1,095,680	1,333,871	1	1,095,680	1,333,871
112	DENJI EL ROSARIO	443,919	2,202,441	10	1	4	418	509	1,697,190	2,066,674	1	1,697,190	2,066,674
116	OJO DE AGUA	451,553	2,208,474	11	80	1	571	696	2,022,992	2,465,854	1	4,415,120	5,381,652
125	AGUA LIMPIA (FRACC. SENTE)	437,992	2,219,891	12	66	1	571	696	1,088,404	1,326,672	1	8,399,652	10,238,455
142	RANCHO SANTA ANA EL SAUZ	444,482	2,205,759	13	1	4	23	24	19,379	20,221	1	19,379	20,221
145	DALIA, LA	446,229	2,206,615	14	80	1	77	93	259,725	313,694	1	165,891	200,361
146	EJIDO SAN ANTONIO	446,881	2,210,763	15	47	1	146	177	836,332	1,013,910	1	745,052	903,248
147	FORTALEZA SAN PABLO, LA (LA FORTALEZA)	446,269	2,210,088	16	47	1	135	164	660,758	802,698	1	567,750	689,711
148	POTRERO NUEVO	452,282	2,209,210	17	80	1	233	284	1,064,773	1,297,835	1	2,013,268	2,453,940
151	BARRIO POBRE	446,731	2,209,410	18	80	1	44	53	205,250	247,233	1	173,358	208,817
152	PEDREGAL, EL	447,690	2,209,408	19	80	1	78	94	325,730	392,547	1	361,810	436,027
158	RANCHO EL MOLINO VIEJO	451,467	2,208,966	20	80	1	14	14	54,669	54,669	1	109,073	109,073
159	RANCHO LA PROVIDENCIA (LA NORIA)	445,168	2,211,383	21	72	1	14	14	182,667	182,667	1	70,064	70,064
161	EJIDO DE COSCOMATE	441,193	2,204,571	22	45	1	667	813	744,353	907,285	1	2,313,628	2,820,060
112	DENJI EL ROSARIO	443,919	2,202,441	23	45	1	121	147	305,315	370,920	1	491,292	596,859
11	DEDENI DOLORES	432,924	2,223,691	24	58	1	383	383	1,169,896	1,169,896	1	7,849,082	7,849,082
2	SAN JUAN ACAZUCHITLAN (SAN JUANICO)	437,643	2,227,916	25	25	1	231	231	0	0	25	0	0
155	EJIDO ACAZUCHITLAN	438,366	2,227,952	26	25	1	2169	2294	2,442,089	2,582,828	25	2,442,089	2,582,828
4	ALDAMA	431,718	2,212,414	27	27	1	1627	1840	0	0	27	0	0
17	LLANO GRANDE	435,023	2,210,311	28	40	1	310	377	1,346,724	1,637,791	27	1,214,305	1,476,751
6	CALPULALPAN	433,540	2,217,694	29	29	1	1681	1681	0	0	29	0	0
23	SALTILLO, EL	429,224	2,213,684	30	89	1	678	826	5,992,114	7,300,127	29	3,994,128	4,866,003
63	MAJUAY, EL	430,469	2,219,827	31	53	1	137	167	491,337	598,929	29	512,225	624,391
94	SAN VICENTE	432,776	2,215,391	32	27	1	701	854	2,215,147	2,698,624	29	1,700,714	2,071,911
98	RANCHO EL TEJOCOTE (EL TEJOCOTE)	442,168	2,209,056	33	1	4	701	854	2,237,656	2,726,046	29	8,558,400	10,426,353
150	SALTILLO, EL	430,424	2,227,954	34	53	1	576	702	4,117,165	5,017,795	29	2,055,291	2,504,886
6	CALPULALPAN	433,540	2,217,694	35	29	1	719	813	0	0	29	0	0
5	BUENAVISTA	439,383	2,210,695	36	1	4	1130	1378	7,114,991	8,676,511	37	3,769,079	4,596,275
7	CANALEJAS	436,558	2,208,922	37	37	1	1639	1945	0	0	37	0	0
143	BARRETE, EL	435,335	2,208,250	38	37	1	593	722	827,525	1,007,543	37	827,525	1,007,543
144	BOSQUE DE CANALEJAS	436,069	2,210,215	39	40	1	738	899	2,670,069	3,252,564	37	1,020,207	1,242,772
8	COMUNIDAD, LA (COMUNIDAD)	438,548	2,212,849	40	40	1	1306	1591	0	0	40	0	0
75	PALO ALTO	438,729	2,214,785	41	66	1	192	233	632,030	766,995	40	373,339	453,063
157	PILAS, LAS	435,526	2,212,707	42	27	1	72	87	274,958	332,241	40	217,856	263,243
8	APELOTEADO	438,548	2,212,849	43	40	1	46	46	0	0	40	0	0
10	PRESA DANXHO (DANXHO)	441,495	2,199,098	44	1	4	393	479	3,080,188	3,754,224	45	1,752,643	2,136,173
14	DOXHICHO	441,655	2,203,555	45	45	1	1278	1533	0	0	45	0	0
134	EJIDO LAS MANZANAS	439,115	2,200,275	46	82	1	429	522	1,734,905	2,111,003	45	1,780,058	2,165,944
16	HUERTAS, LAS	441,729	2,208,258	47	47	1	1971	2396	0	0	47	0	0
32	XHIXHATA	442,891	2,208,193	48	1	4	1119	1364	2,314,611	2,821,385	47	1,302,712	1,587,934
78	QUELITE, EL	443,999	2,209,265	49	47	1	71	86	176,330	213,583	47	176,330	213,583
100	VARGAS	442,668	2,210,868	50	53	1	7	7	129,685	129,685	47	19,414	19,414
156	SANTA MARTHA DE LA CRUZ	440,657	2,209,153	51	47	1	77	93	107,553	129,902	47	107,553	129,902
20	MATAXHI	429,286	2,228,901	52	58	1	213	259	952,360	1,158,034	53	1,299,167	1,579,738
22	ROSAL, EL	428,535	2,222,848	53	53	1	992	992	0	0	53	0	0
81	SAN IGNACIO	427,215	2,226,542	54	53	1	112	136	439,413	533,572	53	439,413	533,572
111	FRESNO, EL	428,471	2,221,342	55	53	1	209	209	315,054	315,054	53	315,054	315,054
114	MAQUEDA, LA	429,445	2,225,088	56	53	1	301	320	727,795	773,736	53	727,795	773,736
139	RANCHO SAN FRANCISCO	426,832	2,225,345	57	53	1	4	4	12,090	12,090	53	12,090	12,090
24	SAN LORENZO NENAMICOYAN	433,197	2,226,733	58	58	1	1146	1146	0	0	58	0	0
24	CERRO DE LA VIRGEN	433,197	2,226,733	59	58	1	561	561	0	0	58	0	0
3	AGUA ESCONDIDA	438,709	2,208,945	60	1	4	1567	1910	9,245,183	11,268,857	61	3,938,170	4,800,195
25	SAN LORENZO OCTEYUCO	436,872	2,207,230	61	61	1	2400	3107	0	0	61	0	0
11	DEDENI DOLORES	432,924	2,223,691	62	63	1	319	388	573,577	697,642	63	573,577	697,642
26	SAN MARTIN TUCHICUITLAPILCO (SAN MARTIN)	432,684	2,221,909	63	63	1	1503	1597	0	0	63	0	0
31	TECOLAPAN	435,497	2,220,576	64	63	1	578	704	1,798,640	2,190,731	63	1,798,640	2,190,731

35	ANIMAS, LAS	435,277	2,224,020	65	58	1	50	50	170,943	170,943	63	167,175	167,175	
27	SAN MIGUEL DE LA VICTORIA	437,956	2,217,985	66	66	1	1634	1700	0	0	66	0	0	
135	PATHE, EL	429,808	2,221,521	67	53	1	34	34	62,510	62,510	66	301,996	301,996	
136	RANCHO EL PAYE (EL PAYE)	439,015	2,221,732	68	72	1	28	34	130,502	158,466	66	109,015	132,375	
139	RANCHO SAN FRANCISCO	426,832	2,225,345	69	53	1	28	34	84,630	102,765	66	373,460	453,487	
162	7A. MANZANA DE SAN MIGUEL DE LA VICTORIA	443,501	2,217,013	70	72	1	333	406	2,413,354	2,942,408	66	1,874,622	2,285,576	
27	AGUA LIMPIA (FRACC. SENTE)	437,956	2,217,985	71	66	1	3	3	0	0	66	0	0	
30	SANTIAGO OXTHOC	442,944	2,224,239	72	72	1	1196	1196	0	0	72	0	0	
56	DURAZNO DE GUERRERO, EL	440,102	2,225,478	73	72	1	110	110	340,984	340,984	72	340,984	340,984	
130	EMILIANO ZAPATA	445,629	2,228,596	74	72	1	95	115	486,166	588,517	72	486,166	588,517	
15	DURAZNO DE CUAUHEMOC, EL	436,706	2,201,636	75	77	1	566	690	1,867,046	2,276,081	77	1,867,046	2,276,081	
18	MAGUEYCITOS	434,887	2,204,962	76	89	1	328	399	2,526,914	3,073,898	77	740,930	901,314	
33	XHIMOJAY	433,717	2,203,030	77	77	1	1834	1871	0	0	77	0	0	
12	DEXCANI ALTO	448,431	2,204,364	78	80	1	248	302	401,694	489,160	80	401,694	489,160	
13	DEXCANI BAJO	448,058	2,206,087	79	80	1	611	744	897,835	1,093,272	80	897,835	1,093,272	
59	HUISACHE, EL	449,452	2,205,621	80	80	1	441	527	0	0	80	0	0	
19	MANZANAS, LAS	441,257	2,206,047	81	1	4	1026	1251	2,931,232	3,574,046	82	3,896,414	4,750,891	
108	EJIDO SAN LORENZO OCTEYUCO	437,965	2,204,152	82	82	1	813	813	0	0	82	0	0	
109	AGUILA, EL	440,377	2,203,805	83	45	1	91	110	118,533	143,282	82	221,718	268,011	
110	EJIDO DE JILOTEPEC	440,429	2,202,145	84	82	1	356	434	1,131,328	1,379,203	82	1,131,328	1,379,203	
115	EJIDO DE CANALEJAS EL MAGUEYAL	439,480	2,205,038	85	82	1	323	377	566,840	661,606	82	566,840	661,606	
160	SAN JOSE EJIDO DE SAN LORENZO	436,373	2,205,971	86	37	1	168	204	496,644	603,068	82	406,185	493,224	
74	PAJARITOS	441,340	2,204,847	87	82	1	479	583	1,650,369	2,008,696	82	1,650,369	2,008,696	
21	RINCON, EL	431,958	2,206,818	88	89	1	390	475	1,980,811	2,412,527	89	1,980,811	2,412,527	
153	TEUPAN	427,184	2,205,085	89	89	1	383	383	0	0	89	0	0	
153	PIEDRAS NEGRAS (CANALEJAS)	427,184	2,205,085	90	89	1	521	521	0	0	89	0	0	
Total								49,698	57,288	94,772,302	114,354,125		101,093,222	120,599,584

*En este municipio se tomo como unidad médica tipo 4, a la cabecera municipal donde existe un centro de salud con hospitalización con capacidad de atención de 4 núcleos básicos.

TEXCALTILÁN MODELO A

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	TEXCALTILÁN	401,313	2,093,313	1	1	2	1323	1723	0	0	1	0	0
2	ACATITLÁN	400,195	2,092,274	2	1	2	283	377	431,791	575,212	1	431,791	575,212
3	ARROYO SECO	401,861	2,091,866	3	1	2	158	210	244,577	325,071	1	244,577	325,071
4	CARBAJAL	394,901	2,087,108	4	4	1	319	399	0	0	4	0	0
5	EL CHAPANÉAL	399,537	2,094,890	5	1	2	478	637	1,135,323	1,512,973	13	859,040	1,144,788
6	CHIQUEUNTEPEC (CHIQUEUNTEPEC)	404,574	2,090,499	6	1	2	285	379	1,227,803	1,632,763	1	1,227,803	1,632,763
7	GAVIA CHICA (RINCÓN)	398,728	2,096,678	7	13	1	475	633	1,558,715	2,077,193	13	1,558,715	2,077,193
8	HUEYATENCO	397,864	2,088,536	8	4	1	816	1020	2,684,301	3,355,376	4	2,684,301	3,355,376
9	JESÚS DEL MONTE	400,073	2,091,322	9	1	2	275	366	645,032	858,480	1	645,032	858,480
11	LLANO GRANDE	405,395	2,096,458	10	1	2	231	307	1,190,348	1,581,978	12	424,028	563,535
12	NOXTEPEC	394,584	2,088,063	11	4	1	264	330	265,534	331,918	4	265,534	331,918
13	PALMILLAS	407,066	2,097,218	12	12	1	336	438	0	0	12	0	0
14	SAN AGUSTÍN	401,320	2,094,666	13	13	1	978	1260	0	0	13	0	0
15	SAN FRANCISCO	402,062	2,091,127	14	1	2	419	558	968,393	1,289,649	13	1,515,050	2,017,656
16	SAN MIGUEL	400,026	2,093,351	15	1	2	421	561	542,016	722,259	1	542,016	722,259
17	SANTA MARÍA	402,336	2,093,185	16	1	2	534	711	550,647	733,165	1	550,647	733,165
18	TEXCAPILLA	405,414	2,094,522	17	12	1	1038	1384	3,282,382	4,376,510	12	3,282,382	4,376,510
19	TLACOTEPEC	402,035	2,097,183	18	13	1	120	160	313,982	418,642	13	313,982	418,642
20	VENTA MORALES (EL PEDREGAL)	402,118	2,096,229	19	13	1	354	471	621,397	826,775	13	621,397	826,775
21	EJIDO VENTA MORALES (LA LAGUNA)	405,701	2,099,162	20	12	1	222	295	527,189	700,544	12	527,189	700,544
22	YUYTEPEC	398,729	2,091,575	21	4	1	200	266	1,176,585	1,564,858	1	622,798	828,321
25	PALO AMARILLO	404,236	2,098,585	22	12	1	111	148	348,832	465,109	13	542,248	722,997
26	LAS TABLAS (LAS TABLAS SAN JOSÉ)	400,928	2,097,895	23	13	1	324	431	1,054,125	1,402,246	13	1,054,125	1,402,246
27	RASTROJO LARGO	399,653	2,089,418	24	4	1	64	85	338,212	449,188	1	270,955	359,862
28	LAS PAREDES	397,477	2,092,658	25	4	1	30	39	183,553	238,618	1	116,739	151,760
30	AGUA DEL TRÉBOL	398,210	2,092,992	26	4	1	59	78	398,285	526,546	1	184,028	243,291
31	OJO DE AGUA	405,841	2,098,024	27	12	1	255	339	373,677	496,770	12	373,677	496,770
33	NUEVA SANTA MARÍA	404,594	2,094,218	28	1	2	282	376	959,766	1,279,688	12	1,096,194	1,461,592
37	SAN JOSÉ	400,886	2,095,652	29	13	1	149	198	160,482	213,257	13	160,482	213,257
51	LAS LÁGRIMAS	410,907	2,105,345	30	12	1	183	244	1,644,975	2,193,301	12	1,644,975	2,193,301
52	EL AGOSTADERO	401,902	2,099,673	31	1	2	111	148	708,979	945,306	13	559,572	746,095
53	LOS LIRIOS	398,623	2,098,953	32	4	1	106	141	1,316,099	1,750,659	13	536,891	714,166

55	LA ANGOSTURA	394,155	2,095,013	33	4	1	12	15	95,273	119,091	13	86,073	107,592
82	EL CHAPULIN	410,340	2,109,037	34	12	1	255	339	3,127,214	4,157,356	12	3,127,214	4,157,356
Total							11,470	15,066	28,075,488	37,120,502	26,069,455		34,458,492

VILLA DE ALLENDE MODELO A

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	SAN JOSE VILLA DE ALLENDE	379,492	2,142,691	1	1	1	1229	1523	0	0	1	0	0
7	CABECERA DE INDIGENAS	380,598	2,142,161	2	1	1	794	1004	973,188	1,230,581	1	973,188	1,230,581
33	SAN MIGUEL	377,933	2,145,161	3	50	2	814	1030	2,235,250	2,828,388	1	2,377,432	3,008,299
36	SANTA MARIA	379,132	2,145,491	4	39	2	587	742	3,737,293	4,724,142	1	1,657,184	2,094,771
47	LENGUA DE VACA (EL PUERTO)	375,437	2,151,142	5	8	1	56	67	122,213	146,219	1	524,938	628,051
69	COLCHONES	380,340	2,142,962	6	39	2	205	259	1,769,505	2,235,618	1	182,484	230,553
76	LOMA BONITA	378,909	2,142,756	7	22	1	90	113	463,181	581,550	1	52,806	66,301
10	CUESTA DEL CARMEN	373,784	2,152,568	8	8	1	530	631	0	0	8	0	0
44	MACIA (EJIDO DE MACIA)	374,494	2,153,977	9	8	1	429	511	676,902	806,287	8	676,902	806,287
13	JACAL, EL	385,668	2,145,848	10	10	1	951	1186	0	0	10	0	0
29	SAN ISIDRO	385,309	2,144,436	11	10	1	355	449	517,166	654,105	10	517,166	654,105
39	SOLEDAD DEL SALITRE (EL SALITRE)	386,071	2,144,923	12	13	2	185	234	809,130	1,023,441	10	186,596	236,019
14	LOMA DE JUAREZ	385,515	2,149,261	13	13	2	1040	1238	0	0	13	0	0
15	SABANA DEL MADROÑO (EL MADROÑO)	390,036	2,139,673	14	18	1	440	556	2,199,182	2,778,966	15	844,668	1,067,353
23	SABANA DEL ROSARIO (SAN MIGUEL)	388,496	2,140,819	15	15	1	866	1031	0	0	15	0	0
73	EJIDO DE SAN MARTIN	389,016	2,139,894	16	18	1	130	164	783,119	987,935	15	137,970	174,054
18	SABANA DE LA PEÑA (LA PEÑA)	390,722	2,137,424	17	18	1	309	369	1,201,711	1,435,053	18	1,201,711	1,435,053
24	SABANA TABORDA PRIMERA SECCION	394,605	2,137,647	18	18	1	549	654	0	0	18	0	0
42	SABANA TABORDA SEGUNDA SECCION	392,602	2,134,554	19	18	1	168	200	619,061	736,977	18	619,061	736,977
59	SABANA DE SAN JERONIMO	392,297	2,137,261	20	18	1	429	511	1,003,769	1,195,632	18	1,003,769	1,195,632
25	SAN CAYETANO (BARRIO DE SANTIAGO)	384,569	2,142,689	21	10	1	460	581	1,538,848	1,943,632	22	769,869	972,378
26	SAN FELIPE SANTIAGO	383,849	2,144,200	22	22	1	2310	2823	0	0	22	0	0
2	AVENTURERO, EL	371,913	2,135,272	23	24	1	275	347	544,858	687,512	24	544,858	687,512
30	SAN JERONIMO TOTOLTEPEC	373,756	2,135,997	24	24	1	1806	3595	0	0	24	0	0
66	CHIRIMOYO, EL	370,418	2,134,422	25	24	1	149	188	550,038	694,008	24	550,038	694,008
75	CHIQUICHUCA (BARRIO CHIQUICHUCA)	372,921	2,137,540	26	44	1	270	341	1,618,679	2,044,332	24	473,781	598,368
4	BERRIOS (LOS BERRIOS)	389,894	2,145,269	27	13	2	1180	1493	6,993,317	8,848,324	39	12,822,128	16,223,252
5	BOSENCHAVE	381,775	2,148,240	28	39	2	499	631	1,699,421	2,148,967	39	1,699,421	2,148,967
6	BUENAVISTA VEINTITRES (AGUA ZARCA)	382,863	2,149,586	29	39	2	614	777	1,652,844	2,091,629	39	1,652,844	2,091,629
8	CERRO DE GUADALUPE	389,003	2,137,896	30	15	1	188	237	557,849	703,246	39	2,974,270	3,749,479
9	SALITRE DEL CERRO, EL	386,723	2,146,641	31	13	2	566	716	1,633,441	2,066,332	39	4,256,978	5,385,152
11	DALIAS, LAS (SAN MIGUEL)	378,025	2,150,079	32	8	1	300	378	1,475,073	1,858,593	39	1,008,081	1,270,182
12	FILIBERTO GOMEZ	390,202	2,143,145	33	15	1	230	277	663,500	799,085	39	2,862,270	3,447,168
16	MESAS DE SAN MARTIN	386,380	2,138,312	34	15	1	410	518	1,345,420	1,699,824	39	5,858,597	7,401,837
19	PIEDRA, LA	378,091	2,151,155	35	8	1	561	709	2,542,514	3,213,267	39	1,669,856	2,110,388
21	SABANA DEL REFUGIO	390,602	2,141,637	36	18	1	230	290	1,299,860	1,638,954	39	3,170,592	3,997,703
22	EJIDO LA SABANA DE SAN JERONIMO	387,955	2,138,302	37	15	1	706	841	1,817,902	2,165,518	39	10,560,718	12,580,119
27	SAN FRANCISCO DE ASIS	382,112	2,146,271	38	13	2	410	518	1,857,414	2,346,684	39	2,215,052	2,798,530
32	SAN JUAN BUENAVISTA (LODO PRIETO)	381,039	2,151,565	39	39	2	583	694	0	0	39	0	0
38	BARRIO DE SANTIAGO (EJIDO DE SANTIAGO)	381,084	2,145,078	40	13	2	890	1126	5,423,609	6,861,779	39	5,773,622	7,304,605
46	CLARIN, EL (LA MESA DEL CLARIN)	378,350	2,154,996	41	39	2	106	134	462,019	584,062	39	462,019	584,062
63	SANTA CRUZ (LA RINCONADA)	374,778	2,136,021	42	44	1	358	452	2,281,101	2,880,050	39	5,999,341	7,574,587
72	CINCO, EL	379,522	2,147,118	43	39	2	193	244	906,955	1,146,617	39	906,955	1,146,617
34	SAN PABLO MALACATEPEC	376,891	2,142,032	44	44	1	1452	1833	0	0	44	0	0
54	MANZANA DE CASHTE	379,218	2,140,940	45	1	1	377	477	667,997	845,184	44	968,983	1,226,007
67	HOYOS, LOS (MANZANA LOS HOYOS)	376,931	2,139,357	46	44	1	320	404	856,073	1,080,793	44	856,073	1,080,793
3	BATAN CHICO	374,479	2,139,220	47	8	1	98	124	1,309,832	1,657,338	50	447,944	566,786
17	MESAS DE ZACANGO (ZACANGO)	384,272	2,141,891	48	10	1	486	615	2,039,273	2,580,562	50	4,276,700	5,411,874
28	SAN ILDEFONSO	380,523	2,139,733	49	50	2	963	1218	6,016,348	7,609,462	50	6,016,348	7,609,462
37	SANTA TERESA	375,648	2,143,639	50	50	2	771	918	0	0	50	0	0
40	VARE CHIQUICHUCA	374,577	2,140,726	51	50	2	1227	1553	3,808,224	4,820,026	50	3,808,224	4,820,026
48	MESAS DE SAN JERONIMO, LAS	373,796	2,137,534	52	50	2	357	451	2,277,542	2,877,231	50	2,277,542	2,877,231
51	BARRIO DE SAN JUAN	382,209	2,143,226	53	10	1	148	187	642,378	811,653	50	973,031	1,229,438
52	CASITAS, LAS	380,131	2,146,560	54	39	2	148	187	752,849	951,235	50	791,912	1,000,592
53	LOMA DE SAN PABLO	376,733	2,144,585	55	50	2	668	841	961,869	1,210,976	50	961,869	1,210,976
68	POTRERO	371,435	2,137,919	56	24	1	45	56	135,631	168,786	50	319,659	397,798
70	SAN MIGUEL LA MAQUINA	375,895	2,145,728	57	8	1	404	511	2,891,849	3,657,759	50	849,809	1,074,883
71	SANTA CRUZ	377,425	2,147,562	58	8	1	22	27	136,163	167,110	50	94,748	116,282
74	BUENAVISTA	372,624	2,136,835	59	24	1	125	157	176,095	221,175	50	930,705	1,168,965

Total	31,061	39,941	76,647,460	96,446,597	100,760,715	126,121,691
-------	--------	--------	------------	------------	-------------	-------------

VILLA VICTORIA MODELO A

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	VILLA VICTORIA	395,491	2,149,539	1	1	3	2705	3320	0	0	1	0	0
5	CERRITOS DEL PILAR	392,490	2,150,018	2	37	1	647	799	2,633,263	3,251,896	1	1,966,185	2,428,102
10	JESUS MARIA	395,479	2,147,572	3	1	3	942	1163	1,853,319	2,288,121	1	1,853,319	2,288,121
18	PEÑAS, LAS	395,555	2,150,523	4	1	3	667	824	657,291	812,006	1	657,291	812,006
20	PUERTA DEL PILAR, LA	393,462	2,151,703	5	1	3	1174	1449	3,482,138	4,297,800	1	3,482,138	4,297,800
23	SAN AGUSTIN DE BERROS SECCION GUADALUPE	398,342	2,148,293	6	1	3	633	782	1,969,474	2,433,062	1	1,969,474	2,433,062
32	SAN PEDRO DEL RINCON	393,680	2,149,181	7	1	3	761	939	1,404,320	1,732,794	1	1,404,320	1,732,794
42	FRESNO SAN AGUSTIN, EL	395,413	2,146,158	8	61	1	461	537	1,957,319	2,280,001	1	1,559,111	1,816,145
78	EJIDO LAS PEÑAS	395,627	2,152,951	9	1	3	33	40	112,671	136,570	1	112,671	136,570
80	RANCHO DE LOS PADRES	397,152	2,149,437	10	1	3	285	352	474,478	586,022	1	474,478	586,022
92	DOLORES	393,469	2,147,922	11	37	1	253	312	924,069	1,139,564	1	655,071	807,834
93	RANCHO LIBERTAD	401,521	2,148,276	12	93	1	253	312	1,296,351	1,598,662	1	1,558,685	1,922,173
101	EJIDO SAN PEDRO DEL RINCON	391,226	2,148,488	13	37	1	13	13	27,143	27,143	1	57,093	57,093
3	CASAS COLORADAS	389,362	2,153,541	14	14	2	648	754	0	0	14	0	0
8	ESPINAL, EL	388,830	2,152,438	15	14	2	1066	1285	1,305,686	1,573,927	14	1,305,686	1,573,927
22	SAN AGUSTIN BERROS	393,893	2,145,675	16	61	1	996	1159	3,160,716	3,677,981	14	9,041,925	10,521,678
27	SAN FELIPE DE LA ROSA (HACIENDA NUEVA)	388,848	2,155,389	17	14	2	519	640	995,292	1,227,336	14	995,292	1,227,336
39	UNION DE LOS BERROS	391,673	2,145,104	18	37	1	410	506	980,655	1,210,272	14	3,586,740	4,426,562
67	AGUA ZARCA	392,330	2,162,316	19	63	2	544	671	1,491,428	1,839,611	14	5,038,941	6,215,312
81	PRESA, LA	389,380	2,151,820	20	14	2	107	131	184,231	225,554	14	184,231	225,554
104	BARRIO EL VIVERO	391,974	2,151,558	21	14	2	545	673	1,787,533	2,207,357	14	1,787,533	2,207,357
109	MESA DEL ESPINAL	387,312	2,152,078	22	37	1	75	92	443,644	544,204	14	188,895	231,712
115	EJIDO VILLA VICTORIA (EL SALTO)	392,927	2,208,181	23	90	1	199	245	9,296,632	11,445,602	14	10,896,341	13,415,093
116	HACIENDA SUCHITEPEC	392,819	2,156,380	24	14	2	199	245	890,151	1,095,915	14	890,151	1,095,915
128	JESUS MA. MONTE ALTO	392,325	2,146,852	25	37	1	131	161	305,782	375,808	14	958,390	1,177,869
134	EJIDO SAN AGUSTIN BERROS	389,519	2,145,824	26	37	1	27	32	29,398	34,842	14	208,409	247,003
2	ALAMEDA, LA	397,547	2,157,366	27	27	2	583	679	0	0	27	0	0
4	CEDROS, LOS	396,348	2,156,574	28	27	2	684	796	983,458	1,144,492	27	983,458	1,144,492
6	CUADRILLA VIEJA	396,239	2,157,989	29	27	2	796	954	1,153,139	1,382,029	27	1,153,139	1,382,029
13	MESA DEL GUADALUPE	394,782	2,157,997	30	63	2	281	346	865,810	1,066,086	27	797,095	981,477
25	SAN DIEGO DEL CERRITO 1A. SECCION	394,341	2,157,385	31	27	2	1636	2020	5,245,845	6,477,143	27	5,245,845	6,477,143
73	LOMA DEL LIENZO	398,097	2,156,564	32	27	2	744	866	723,478	842,113	27	723,478	842,113
75	JACAL, EL	394,852	2,155,046	33	27	2	89	109	316,563	387,701	27	316,563	387,701
84	LOMA DEL MOLINO	397,390	2,155,369	34	74	2	165	203	358,042	440,500	27	330,575	406,707
108	BARRIO DEL CERRILLO (DOS RIOS)	396,915	2,153,896	35	74	2	223	275	745,804	919,714	27	786,585	970,004
137	EX-HACIENDA DE AYALA	396,025	2,156,207	36	27	2	268	331	512,883	633,449	27	512,883	633,449
7	DOLORES VAQUERIAS	389,991	2,146,805	37	37	1	783	954	0	0	37	0	0
9	HOSPITAL, EL (SAN ANTONIO EL HOSPITAL)	404,440	2,148,875	38	38	1	958	1126	0	0	38	0	0
124	HOSPITAL PROPIEDAD	400,908	2,148,310	39	93	1	376	464	1,873,189	2,311,594	38	1,344,883	1,659,643
93	RANCHO LIBERTAD	401,521	2,148,276	40	93	1	12	12	61,487	61,487	38	35,766	35,766
12	PROPIEDAD LAGUNA SECA	395,431	2,139,241	41	41	1	884	1029	0	0	41	0	0
16	EJIDO DE LOS PADRES	401,042	2,151,475	42	38	1	353	435	1,510,434	1,861,299	41	4,751,224	5,854,908
77	SITIO CENTRO, EL (EL SITIO)	402,216	2,152,760	43	85	1	1316	1595	4,306,267	5,219,222	41	19,905,549	24,125,646
105	BARRIO LOS MATORRALES	409,540	2,148,080	44	81	2	236	291	1,706,400	2,104,078	41	3,929,075	4,844,750
106	BARRIO DE LOS VELAZQUEZ	408,144	2,148,948	45	81	2	99	122	668,121	823,342	41	1,583,508	1,951,394
117	EJIDO DE JESUS MARIA 2A. SECCION	402,738	2,152,388	46	85	1	134	157	355,263	416,241	41	2,015,553	2,361,506
118	RANCHO SANTA BARBARA	401,430	2,147,661	47	93	1	128	157	578,194	709,191	41	1,323,307	1,623,119
14	SAN LUIS LA MANZANA	402,605	2,138,463	48	48	1	945	1100	0	0	48	0	0
29	SAN LUIS LA GAVIA	402,210	2,140,925	49	48	1	758	883	1,889,632	2,201,247	48	1,889,632	2,201,247
43	SAN AGUSTIN ALTAMIRANO 2A. SECC.	403,268	2,142,456	50	81	2	558	689	859,363	1,061,114	48	2,258,482	2,788,699
133	SAN AGUSTIN ALTAMIRANO 3A. SECC.	403,731	2,141,716	51	48	1	143	167	492,196	574,803	48	492,196	574,803
17	PALIZADA	384,427	2,156,985	52	52	1	783	912	0	0	52	0	0
19	POTRERO DE SAN DIEGO	386,312	2,155,436	53	14	2	572	706	2,053,494	2,534,557	52	1,395,667	1,722,624
56	ATOLE, EL	382,165	2,158,813	54	52	1	176	217	511,906	631,157	52	511,906	631,157
57	MILPAS, LAS	382,979	2,158,470	55	52	1	220	271	456,302	562,081	52	456,302	562,081
58	CAMPO NUEVO	383,225	2,155,978	56	52	1	158	195	247,704	305,711	52	247,704	305,711
61	CATORCE, EL	385,113	2,154,859	57	52	1	391	482	873,349	1,076,609	52	873,349	1,076,609
86	BARRIO DE LOS AVIONES	383,263	2,157,361	58	52	1	169	205	206,691	250,720	52	206,691	250,720
88	BUENAVISTA	402,044	2,147,965	59	81	2	166	205	713,045	880,568	52	3,285,383	4,057,251
129	LOMA LARGA (LA AVANZADA)	385,335	2,157,625	60	52	1	58	68	64,415	75,521	52	64,415	75,521
24	SAN AGUSTIN CANOHILLAS 2A. SECCION	393,087	2,142,606	61	61	1	553	644	0	0	61	0	0

44	SAN AGUSTIN CANOHILLAS 1A. SECCION	392,219	2,143,687	62	61	1	107	125	148,403	173,368	61	148,403	173,368
26	SAN DIEGO SUCHITEPEC	392,139	2,159,581	63	63	2	564	661	0	0	63	0	0
63	BARRIO DE LOS REMEDIOS	390,175	2,157,810	64	14	2	259	319	1,125,355	1,386,055	63	684,913	843,581
64	LOMA DE LA ROSA	390,247	2,160,023	65	63	2	278	343	540,097	666,379	63	540,097	666,379
65	BARRIO DE LOS CEDROS	391,194	2,157,557	66	63	2	456	563	1,018,287	1,257,227	63	1,018,287	1,257,227
103	SANTA CRUZ DE LA ROSA	389,525	2,156,338	67	14	2	279	344	781,562	963,646	63	1,162,097	1,432,837
110	AGUA GRANDE	392,938	2,161,728	68	63	2	534	659	1,223,547	1,509,957	63	1,223,547	1,509,957
111	CERRILLO CHICO	391,702	2,159,645	69	63	2	544	672	240,178	296,691	63	240,178	296,691
113	BARRIO DE LA PROVIDENCIA	392,376	2,155,398	70	14	2	24	29	84,970	102,672	63	100,538	121,483
131	MESA, LA	392,757	2,160,622	71	63	2	241	297	291,909	359,738	63	291,909	359,738
138	BARRIO CERRILLO GRANDE	390,327	2,158,885	72	63	2	230	283	446,324	549,173	63	446,324	549,173
30	SAN LUIS EL ALTO	403,431	2,134,555	73	73	1	579	674	0	0	73	0	0
31	SAN MARCOS DE LA LOMA	399,435	2,156,095	74	74	2	1776	2111	0	0	74	0	0
41	CAMPANILLA, LA	401,099	2,156,547	75	74	2	987	1219	1,702,008	2,102,074	74	1,702,008	2,102,074
46	BARRIO DE SAN ISIDRO	399,478	2,158,647	76	90	1	593	690	2,178,399	2,534,731	74	1,513,142	1,760,655
49	VENTA DE OCOTILLOS (OCOTILLOS)	399,561	2,152,590	77	74	2	670	827	2,350,024	2,900,702	74	2,350,024	2,900,702
85	BARRIO DE CENTRO DEL CERRILLO	399,868	2,160,612	78	90	1	418	487	716,093	834,300	74	1,896,601	2,209,677
102	SAN ROQUE	397,816	2,153,246	79	74	2	578	713	1,894,619	2,337,134	74	1,894,619	2,337,134
114	BARRIO DE SAN MIGUEL	400,606	2,157,042	80	74	2	401	495	603,875	745,432	74	603,875	745,432
11	EJIDO DE LAGUNA SECA	403,597	2,143,961	81	81	2	598	714	0	0	81	0	0
28	SAN JOAQUIN DEL MONTE	405,072	2,146,935	82	81	2	607	749	2,014,858	2,486,209	81	2,014,858	2,486,209
35	SANTIAGO DEL MONTE	400,922	2,145,420	83	81	2	1733	2140	5,281,923	6,522,397	81	5,281,923	6,522,397
132	COLONIA DR. GUSTAVO BAZ	403,318	2,146,329	84	81	2	675	833	1,609,817	1,986,633	81	1,609,817	1,986,633
36	EJIDO DEL SITIO LOMAS DE GUADALUPE	405,241	2,151,514	85	85	1	822	957	0	0	85	0	0
38	TURCIO PRIMERA SECCION (TURCIO)	398,372	2,138,118	86	86	1	1179	1372	0	0	86	0	0
47	TURCIO SEGUNDA SECCION	399,063	2,141,588	87	86	1	609	709	2,154,591	2,508,383	86	2,154,591	2,508,383
48	TURCIO TERCERA SECCION	399,155	2,137,253	88	86	1	543	632	633,626	737,480	86	633,626	737,480
140	TURCIO LA LOMA	400,560	2,137,921	89	48	1	528	615	1,117,382	1,301,497	86	1,159,663	1,350,744
15	MINA VIEJA	400,693	2,162,114	90	90	1	928	1080	0	0	90	0	0
91	CENTRO DEL CERRILLO	398,006	2,161,053	91	104	1	1642	2027	3,201,405	3,952,038	90	4,743,711	5,855,970
125	BARRIO DE PUENTECILLAS	397,356	2,159,581	92	104	1	431	532	694,940	857,791	90	1,805,516	2,228,618
33	SANSON	399,773	2,143,459	93	93	1	424	494	0	0	93	0	0
34	SANTA ISABEL DEL MONTE	398,826	2,146,169	94	93	1	782	920	2,245,391	2,641,637	93	2,245,391	2,641,637
98	SAN AGUSTIN ALTAMIRANO	395,523	2,144,989	95	41	1	961	1186	5,524,638	6,818,127	93	4,341,329	5,357,769
100	RANCHO SAN JOSE (LAS GOLONDRINAS)	399,983	2,149,821	96	38	1	961	1186	4,378,484	5,403,624	93	6,117,465	7,549,754
119	RANCHO LA ESPERANZA	402,592	2,146,887	97	81	2	128	157	395,986	485,702	93	568,056	696,756
120	SAN AGUSTIN MONTE ALTO (LA TRAMPA)	393,450	2,144,786	98	61	1	134	157	296,209	347,051	93	865,710	1,014,302
121	RANCHO PROVIDENCIA DE LOS PADRES	400,194	2,151,019	99	85	1	128	157	649,161	796,237	93	969,179	1,188,759
122	HACIENDA SAN ANTONIO	398,539	2,141,898	100	41	1	134	157	547,892	641,934	93	266,631	312,396
123	RANCHO EL GIGANTE	403,236	2,147,344	101	38	1	128	157	249,263	305,736	93	666,197	817,132
135	EJIDO DE LAGUNA SECA 2A. SECCION	398,550	2,143,835	102	93	1	191	223	244,394	285,340	93	244,394	285,340
136	EJIDO SAN AGUSTIN ALTAMIRANO 1A. SECCION	397,962	2,142,977	103	93	1	234	273	438,607	511,708	93	438,607	511,708
127	SAN ANTONIO DEL RINCON	396,109	2,160,603	104	104	1	327	383	0	0	104	0	0
37	SUCHITIMBER (MESA DE SUCHITIMBER)	383,753	2,151,917	105	14	2	332	410	1,938,665	2,394,135	104	5,014,289	6,192,345
59	LOMA DEL BURRO	383,017	2,155,365	106	52	1	43	52	92,354	111,684	104	606,320	733,224
60	VAQUERIAS	380,031	2,153,447	107	37	1	61	75	730,313	897,926	104	1,073,498	1,319,874
62	OJO DE AGUA	382,913	2,152,814	108	52	1	221	272	980,683	1,206,995	104	3,386,352	4,167,818
66	LOMA DE SAN JOSE	394,825	2,160,364	109	63	2	498	615	1,393,418	1,720,787	104	650,264	803,037
89	CAPULIN, EL	383,795	2,153,976	110	52	1	181	223	556,452	685,573	104	2,530,935	3,118,224
107	BARRIO DEL PANTEON	392,045	2,158,505	111	63	2	226	279	243,968	301,182	104	1,033,517	1,275,891
112	BARRIO DEL NUEVO BOSQUE	391,618	2,155,372	112	14	2	245	302	711,851	877,465	104	1,688,973	2,081,918
126	BARRIO DE RAMEJE	394,264	2,159,107	113	63	2	404	498	879,562	1,084,212	104	959,505	1,182,756
139	BARRIO DE CENTENARIO	395,513	2,158,362	114	90	1	246	303	1,573,430	1,938,005	104	570,375	702,535
116	HACIENDA SUCHITEPEC	392,819	2,156,380	115	14	2	5	5	22,366	22,366	104	26,765	26,765
							Total	57,498	69,456	124,142,738	151,544,950	177,736,604	216,733,786

Resultados obtenidos del Modelo B por municipio

JIQUIPILCO MODELO B

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	JIQUIPILCO	436,246	2,162,413	1	1	2	1363	1363	0	0	1	0	0
16	LA PASTORA	431,960	2,161,722	2	27	1	238	250	589,407	619,125	1	1,033,279	1,085,377
26	SANTA ISABEL	434,344	2,160,392	3	54	1	373	393	1,209,041	1,273,869	1	1,035,283	1,090,795
33	MANZANA CUARTA	435,601	2,161,278	4	54	1	1	1	1,939	1,939	1	1,306	1,306
61	MANZANA PRIMERA LA CAPILLA	436,505	2,161,429	5	58	1	1492	1571	2,866,873	3,018,671	1	1,518,865	1,599,288
62	MANZANA SEGUNDA	437,795	2,163,791	6	1	2	835	879	1,731,148	1,822,370	1	1,731,148	1,822,370
63	MANZANA TERCERA PANTHÉ	435,494	2,163,922	7	24	1	933	982	1,797,843	1,892,263	1	1,573,040	1,655,654
65	SAN ISIDRO	433,999	2,161,499	8	24	1	249	262	644,539	678,189	1	604,046	635,582
91	MANZANA TERCERA (BODO)	436,864	2,164,133	9	50	1	70	70	96,138	96,138	1	127,883	127,883
9002-98	EL PEDREGAL	436,246	2,162,413	10	1	2	1399	1399	0	0	1	0	0
9003-98	HACIENDA SANTA ISABEL	434,344	2,160,392	11	54	1	79	83	256,070	269,036	1	219,269	230,371
15-87	VISTA HERMOSA	437,629	2,158,013	12	55	2	447	470	511,093	537,391	1	2,061,950	2,168,046
2	RANCHO ALEGRE	428,351	2,170,128	13	41	1	58	61	153,819	161,775	14	139,453	146,666
4	BARRIO PRIMERO BUENOS AIRES	430,740	2,170,395	14	14	1	221	221	0	0	14	0	0
6	DOLORES AMARILLAS	425,905	2,170,384	15	22	1	758	798	3,978,368	4,188,308	14	3,665,019	3,858,423
67	BUENOS AIRES	429,862	2,169,261	16	14	1	1731	1788	2,482,734	2,564,488	14	2,482,734	2,564,488
68	EL SANTUARIO DEL SEÑOR DEL CERRITO	426,951	2,162,633	17	17	1	1788	1788	0	0	14	15,443,859	15,443,859
8	LOMA DE HIDALGO	431,921	2,166,764	18	18	1	1843	1853	0	0	18	0	0
11	LOMA DE SAN FELIPE	429,935	2,165,542	19	41	1	419	441	960,890	1,011,342	18	976,951	1,028,247
9004-98	LA PALMA	431,921	2,166,764	20	18	1	155	155	0	0	18	0	0
10	EJIDO LOMA DE MALACOTA	429,822	2,173,965	21	21	1	1871	1871	0	0	21	0	0
18	SAN ANTONIO NIXINI	427,673	2,175,326	22	22	1	1065	1065	0	0	21	2,709,536	2,709,536
12	LOMA VICENTE GUERRERO	432,002	2,165,319	23	18	1	402	423	581,849	612,244	24	810,379	852,712
15	MOXTEJE	433,571	2,164,052	24	24	1	466	466	0	0	24	0	0
35	EJIDO DE SANTA MARÍA NATIVITAS	434,586	2,162,758	25	1	2	751	791	1,272,935	1,340,735	24	1,235,575	1,301,384
83	LAS GOLONDRINAS	433,860	2,163,437	26	24	1	94	94	63,951	63,951	24	63,951	63,951
17	PORTEZUELO	431,222	2,159,358	27	27	1	828	828	0	0	27	0	0
23	SAN MARTÍN MORELOS	428,426	2,159,707	28	27	1	428	450	1,206,189	1,268,189	27	1,206,189	1,268,189
24	SAN MIGUEL YUXTEPEC	425,282	2,160,673	29	46	2	923	972	2,110,565	2,222,610	27	5,615,379	5,913,487
50	LOMA DEL MADROÑO	432,274	2,159,969	30	27	1	294	294	357,513	357,513	27	357,513	357,513
19	SAN BARTOLO OXTOTITLÁN	435,456	2,169,548	31	31	2	3676	3690	0	0	31	0	0
32	LOMA HERMOSA	433,917	2,170,998	32	31	2	657	692	1,389,101	1,463,102	31	1,389,101	1,463,102
59	LA NOPALERA	432,435	2,171,803	33	14	1	182	192	400,940	422,969	31	686,088	723,786
73	MANZANA QUINTA DE SAN BARTOLO OXTOTITLÁN	435,045	2,168,750	34	31	2	467	492	419,013	441,444	31	419,013	441,444
20	SAN FELIPE SANTIAGO	431,926	2,168,178	35	35	2	3756	3756	0	0	35	0	0
28	RANCHERÍA DE SILA (EJIDO DE SILA)	432,227	2,170,820	36	14	1	266	280	411,373	433,024	35	707,449	744,683
51	COLONIA MORELOS	431,726	2,169,346	37	35	2	432	455	512,247	539,520	35	512,247	539,520
60	COLONIA BENITO JUÁREZ SAN FELIPE SANTIAGO	432,688	2,169,343	38	35	2	561	591	780,986	822,750	35	780,986	822,750
3	BÓXIMO	426,505	2,167,492	39	41	1	63	66	199,349	208,842	41	199,349	208,842
9	LOMA DEL ASTILLERO	429,381	2,165,605	40	44	1	997	1049	1,807,489	1,901,761	41	2,222,026	2,337,919
22	SAN JOSÉ DEL SITIO	429,652	2,167,818	41	41	1	1689	1689	0	0	41	0	0
21	SAN FRANCISCO EL ALTO	423,971	2,167,687	42	43	2	375	395	1,675,436	1,764,793	43	1,675,436	1,764,793
25	PRIMERA MANZANA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN	426,286	2,163,866	43	43	2	1090	1090	0	0	43	0	0
58	TIERRA BLANCA	428,414	2,164,072	44	44	1	1226	1226	0	0	43	2,621,024	2,621,024
69	SECCIÓN DEL CERRITO	428,379	2,162,658	45	17	1	425	425	606,965	606,965	43	1,026,938	1,026,938
71	MANZANA CUARTA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN	425,058	2,162,949	46	46	2	3489	3489	0	0	43	5,346,390	5,346,390
72	MANZANA TERCERA DE SANTA CRUZ TEPEXPAN	426,460	2,163,558	47	43	2	2525	2525	892,920	892,920	43	892,920	892,920
5	RANCHO COLORADO	435,473	2,166,259	48	50	1	404	404	474,744	474,744	50	474,744	474,744
14	RANCHERÍA DE MAÑI (EX-HACIENDA DE MAÑI)	433,579	2,166,204	49	24	1	533	561	1,146,877	1,207,125	50	1,470,915	1,548,186
27	SANTA MARÍA NATIVITAS	436,198	2,165,334	50	50	1	1619	1619	0	0	50	0	0
13	EJIDO DE MAÑI	430,013	2,163,267	51	52	1	813	813	734,354	734,354	52	734,354	734,354
29	EJIDO LLANO GRANDE (PLANTA PILOTO)	430,162	2,164,158	52	52	1	1541	1541	0	0	52	0	0
52	LAS PALOMITAS (PUERTO JIQUIPILLI)	440,269	2,162,891	53	58	1	46	48	150,642	157,191	54	152,695	159,334
64	MANZANA QUINTA (LA CAÑADA)	437,523	2,161,026	54	54	1	1715	1715	0	0	54	0	0
7	LOMA DE ENDOTZI (MANZANA SEXTA)	437,050	2,158,999	55	55	2	2718	2718	0	0	58	4,833,226	4,833,226
42	EL JARAL (TIERRA MONTÓN)	434,221	2,158,548	56	27	1	544	573	1,689,935	1,780,023	58	2,356,665	2,482,296
49	HACIENDA NIXINI	428,203	2,176,799	57	22	1	573	573	897,220	897,220	58	10,980,938	10,980,938
74	MANZANA SEXTA PARTE BAJA	438,133	2,160,409	58	58	1	470	470	0	0	58	0	0
Total							54,426	55,219	37,062,494	38,748,895		84,095,111	86,072,315

JILOTEPEC MODELO B

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	K*					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	JILOTEPEC DE MOLINA ENRIQUEZ	444,078	2,206,498	1	1	4	1	1	0	0	1	0	0
9	COSCOMATE DEL PROGRESO	445,844	2,204,249	2	1	4	1138	1198	3,254,701	3,426,302	1	3,254,701	3,426,302
28	SAN PABLO HUANTEPEC	448,587	2,207,929	3	3	1	1860	1928	0	0	1	8,799,868	9,121,583
57	GIRASOL, EL	447,829	2,207,132	4	80	1	79	83	175,200	184,071	1	300,569	315,787
60	LAGUNA, LA	446,844	2,208,334	5	80	1	96	101	361,252	380,067	1	318,770	335,372
66	MANZANILLA, LA	446,109	2,205,385	6	1	4	281	296	650,848	685,591	1	650,848	685,591
74	PAJARITOS	441,340	2,204,847	7	7	1	296	296	0	0	1	946,340	946,340
79	QUICHI, EL	444,895	2,207,572	8	1	4	81	85	109,272	114,668	1	109,272	114,668
105	XHITEY, EL	444,756	2,209,601	9	1	4	399	420	1,267,177	1,333,871	1	1,267,177	1,333,871
112	DENJI EL ROSARIO	443,919	2,202,441	10	7	1	484	509	1,707,319	1,795,507	1	1,965,168	2,066,674
116	OJO DE AGUA	451,553	2,208,474	11	80	1	661	696	2,341,853	2,465,854	1	5,111,023	5,381,652
125	AGUA LIMPIA (FRACC. SENTE)	437,992	2,219,891	12	66	1	664	696	1,265,675	1,326,672	1	9,767,722	10,238,455
142	RANCHO SANTA ANA EL SAUZ	444,482	2,205,759	13	1	4	23	24	19,379	20,221	1	19,379	20,221
145	DALIA, LA	446,229	2,206,615	14	1	4	88	93	189,589	200,361	1	189,589	200,361
146	EJIDO SAN ANTONIO	446,881	2,210,763	15	3	1	168	177	555,619	585,384	1	857,320	903,248
147	FORTALEZA SAN PABLO, LA	446,269	2,210,088	16	1	4	156	164	656,067	689,711	1	656,067	689,711
148	POTRERO NUEVO	452,282	2,209,210	17	3	1	270	284	1,055,772	1,110,516	1	2,332,971	2,453,940
151	BARRIO POBRE	446,731	2,209,410	18	80	1	50	53	233,239	247,233	1	196,998	208,817
152	PEDREGAL, EL	447,690	2,209,408	19	3	1	89	94	153,865	162,510	1	412,834	436,027
158	RANCHO EL MOLINO VIEJO	451,467	2,208,966	20	3	1	13	14	39,795	42,857	1	101,282	109,073
159	RANCHO LA PROVIDENCIA (LA NORIA)	445,168	2,211,383	21	36	1	13	14	75,736	81,562	1	65,059	70,064
161	EJIDO DE COSCOMATE	441,193	2,204,571	22	7	1	792	813	247,513	254,076	1	2,747,217	2,820,060
112	DENJI EL ROSARIO	443,919	2,202,441	23	7	1	140	147	493,853	518,545	1	568,437	596,859
11	DEDENI DOLORES	432,924	2,223,691	24	53	1	364	383	1,626,580	1,711,484	1	7,459,702	7,849,082
2	SAN JUAN ACAZUCHITLAN	437,643	2,227,916	25	25	1	221	231	0	0	25	0	0
155	EJIDO ACAZUCHITLAN	438,366	2,227,052	26	25	1	2179	2294	2,453,348	2,582,828	25	2,453,348	2,582,828
4	ALDAMA	431,718	2,212,414	27	27	1	1840	1840	0	0	27	0	0
17	LLANO GRANDE	435,023	2,210,311	28	27	1	358	377	1,402,326	1,476,751	27	1,402,326	1,476,751
6	CALPULALPAN	433,540	2,217,694	29	29	1	1628	1681	0	0	29	0	0
23	SALTILLO, EL	429,224	2,213,684	30	34	1	826	826	2,121,029	2,121,029	29	4,866,003	4,866,003
63	MAJUAY, EL	430,469	2,219,827	31	53	1	163	167	584,584	598,929	29	609,436	624,391
94	SAN VICENTE	432,776	2,215,391	32	34	1	854	854	2,064,450	2,064,450	29	2,071,911	2,071,911
98	RANCHO EL TEJOCOTE (EL TEJOCOTE)	442,168	2,209,056	33	1	4	811	854	2,588,786	2,726,046	29	9,901,372	10,426,353
150	SALTILLO, EL	430,424	2,215,954	34	34	1	702	702	0	0	29	2,504,886	2,504,886
6	CALPULALPAN	433,540	2,217,694	35	29	1	772	813	0	0	29	0	0
5	BUENAVISTA	439,383	2,210,695	36	36	1	1378	1378	0	0	37	4,596,275	4,596,275
7	CANALEJAS	436,558	2,208,922	37	37	1	1945	1945	0	0	37	0	0
143	BARRETE, EL	435,335	2,208,250	38	36	1	686	722	3,244,296	3,414,551	37	957,306	1,007,543
144	BOSQUE DE CANALEJAS	436,069	2,210,215	39	40	1	854	899	3,089,755	3,252,564	37	1,180,565	1,242,772
8	COMUNIDAD, LA (COMUNIDAD)	438,548	2,212,849	40	40	1	1546	1591	0	0	40	0	0
75	PALO ALTO	438,729	2,214,785	41	37	1	221	233	1,381,864	1,456,897	40	429,729	453,063
157	PILAS, LAS	435,526	2,212,707	42	27	1	84	87	320,784	332,241	40	254,165	263,243
8	APELOTEADO	438,548	2,212,849	43	36	1	46	46	106,303	106,303	40	0	0
10	PRESA DANXHO (DANXHO)	441,495	2,199,098	44	45	1	455	479	2,029,141	2,136,173	45	2,029,141	2,136,173
14	DOXHICHO	441,655	2,203,555	45	45	1	1533	1533	0	0	45	0	0
134	EJIDO LAS MANZANAS	439,115	2,200,275	46	82	1	496	522	2,005,858	2,111,003	45	2,058,062	2,165,944
16	HUERTAS, LAS	441,729	2,208,258	47	47	1	2396	2396	0	0	47	0	0
32	XHIXHATA	442,891	2,208,193	48	1	4	1296	1364	2,680,729	2,821,385	47	1,508,770	1,587,934
78	QUELITE, EL	443,999	2,209,265	49	1	4	82	86	226,974	238,045	47	203,649	213,583
100	VARGAS	442,668	2,210,868	50	36	1	7	7	23,022	23,022	47	19,414	19,414
156	SANTA MARTHA DE LA CRUZ	440,657	2,209,153	51	36	1	93	93	185,940	185,940	47	129,902	129,902
20	MATAXHI	429,286	2,228,901	52	58	1	246	259	1,099,909	1,158,034	53	1,500,446	1,579,738
22	ROSAL, EL	428,535	2,222,848	53	53	1	992	992	0	0	53	0	0
81	SAN IGNACIO	427,215	2,226,542	54	53	1	129	136	506,109	533,572	53	506,109	533,572
111	FRESNO, EL	428,471	2,221,342	55	53	1	209	209	315,054	315,054	53	315,054	315,054
114	MAQUEDA, LA	429,445	2,225,088	56	53	1	304	320	735,049	773,736	53	735,049	773,736
139	RANCHO SAN FRANCISCO	426,832	2,225,345	57	53	1	4	4	12,090	12,090	53	12,090	12,090
24	SAN LORENZO NENAMICOYAN	433,197	2,226,733	58	58	1	1146	1146	0	0	58	0	0
24	CERRO DE LA VIRGEN	433,197	2,226,733	59	58	1	561	561	0	0	58	0	0
3	AGUA ESCONDIDA	438,709	2,208,945	60	61	2	1815	1910	4,561,442	4,800,195	61	4,561,442	4,800,195
25	SAN LORENZO OCTEYUCO	436,872	2,207,230	61	61	2	2985	3107	0	0	61	0	0
11	DEDENI DOLORES	432,924	2,223,691	62	58	1	369	388	1,127,133	1,185,169	63	663,479	697,642
26	SAN MARTIN TUCHICUITLAPILCO	432,684	2,221,909	63	63	1	1597	1597	0	0	63	0	0

31	TECOLAPAN	435,497	2,220,576	64	63	1	669	704	2,081,817	2,190,731	63	2,081,817	2,190,731	
35	ANIMAS, LAS	435,277	2,224,020	65	63	1	48	50	160,488	167,175	63	160,488	167,175	
27	SAN MIGUEL DE LA VICTORIA	437,956	2,217,985	66	66	1	1700	1700	0	0	66	0	0	
135	PATHE, EL	429,808	2,221,521	67	53	1	34	34	62,510	62,510	66	301,996	301,996	
136	RANCHO EL PAYE (EL PAYE)	439,015	2,221,732	68	66	1	32	34	124,588	132,375	66	124,588	132,375	
139	RANCHO SAN FRANCISCO	426,832	2,225,345	69	53	1	32	34	96,720	102,765	66	426,811	453,487	
162	7A. MZA DE SAN MIGUEL DE LA VICTORIA	443,501	2,217,013	70	72	1	386	406	2,797,461	2,942,408	66	2,172,986	2,285,576	
27	AGUA LIMPIA (FRACC. SENTE)	437,956	2,217,985	71	66	1	3	3	0	0	66	0	0	
30	SANTIAGO OXTHOC	442,944	2,224,239	72	72	1	1196	1196	0	0	72	0	0	
56	DURAZNO DE GUERRERO, EL	440,102	2,225,478	73	72	1	105	110	325,485	340,984	72	325,485	340,984	
130	EMILIANO ZAPATA	445,629	2,228,596	74	72	1	109	115	557,812	588,517	72	557,812	588,517	
15	DURAZNO DE CUAUHEMOC, EL	436,706	2,201,636	75	82	1	656	690	1,845,763	1,941,428	77	2,163,927	2,276,081	
18	MAGUEYITOS	434,887	2,204,962	76	77	1	379	399	856,136	901,314	77	856,136	901,314	
33	XHIMOJAY	433,717	2,203,030	77	77	1	1871	1871	0	0	77	0	0	
12	DEXCANI ALTO	448,431	2,204,364	78	80	1	287	302	464,864	489,160	80	464,864	489,160	
13	DEXCANI BAJO	448,058	2,206,087	79	80	1	707	744	1,038,903	1,093,272	80	1,038,903	1,093,272	
59	HUISACHE, EL	449,452	2,205,621	80	80	1	520	527	0	0	80	0	0	
19	MANZANAS, LAS	441,257	2,206,047	81	1	4	1188	1251	3,394,058	3,574,046	82	4,511,637	4,750,891	
108	EJIDO SAN LORENZO OCTEYUCO	437,965	2,204,152	82	82	1	813	813	0	0	82	0	0	
109	AGUILA, EL	440,377	2,203,805	83	7	1	105	110	148,961	156,055	82	255,829	268,011	
110	EJIDO DE JILOTEPEC	440,429	2,202,145	84	45	1	412	434	769,732	810,834	82	1,309,290	1,379,203	
115	EJIDO DE CANALEJAS EL MAGUEYAL	439,480	2,205,038	85	82	1	377	377	661,606	661,606	82	661,606	661,606	
160	SAN JOSE EJIDO DE SAN LORENZO	436,373	2,205,971	86	37	1	204	204	603,068	603,068	82	493,224	493,224	
74	PAJARITOS	441,340	2,204,847	87	7	1	583	583	0	0	82	2,008,696	2,008,696	
21	RINCON, EL	431,958	2,206,818	88	89	1	451	475	2,290,631	2,412,527	89	2,290,631	2,412,527	
153	TEUPAN	427,184	2,205,085	89	89	1	383	383	0	0	89	0	0	
153	PIEDRAS NEGRAS (CANALEJAS)	427,184	2,205,085	90	89	1	521	521	0	0	89	0	0	
Total								55,806	57,288	69,626,883	72,933,847		115,774,967	120,599,584

*En este municipio se tomo como unidad médica tipo 4, a la cabecera municipal donde existe un centro de salud con hospitalización con capacidad de atención de 4 núcleos básicos.

TEXCALTLÁN MODELO B

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	TEXCALTLÁN	401,313	2,093,313	1	1	2	1723	1723	0	0	1	0	0
2	ACATITLÁN	400,195	2,092,274	2	1	2	359	377	547,749	575,212	1	547,749	575,212
3	ARROYO SECO	401,861	2,091,866	3	1	2	200	210	309,591	325,071	1	309,591	325,071
4	CARBAJAL	394,901	2,087,108	4	4	1	399	399	0	0	4	0	0
5	EL CHAPANEAL	399,537	2,094,890	5	5	1	637	637	0	0	13	1,144,788	1,144,788
6	CHIQUIUNTEPEC (CHIQUNTEPEC)	404,574	2,090,499	6	17	1	360	379	1,479,321	1,557,397	1	1,550,909	1,632,763
7	GAVIA CHICA (RINCÓN)	398,728	2,096,678	7	5	1	633	633	1,241,925	1,241,925	13	2,077,193	2,077,193
8	HUEYATENCO	397,864	2,088,536	8	4	1	969	1020	3,187,608	3,355,376	4	3,187,608	3,355,376
9	JESÚS DEL MONTE	400,073	2,091,322	9	1	2	348	366	816,259	858,480	1	816,259	858,480
11	LLANO GRANDE	405,395	2,096,458	10	12	1	307	307	563,535	563,535	12	563,535	563,535
12	NOXTEPEC	394,584	2,088,063	11	4	1	330	330	331,918	331,918	4	331,918	331,918
13	PALMILLAS	407,066	2,097,218	12	12	1	438	438	0	0	12	0	0
14	SAN AGUSTÍN	401,320	2,094,666	13	13	1	1204	1260	0	0	13	0	0
15	SAN FRANCISCO	402,062	2,091,127	14	1	2	530	558	1,224,936	1,289,649	13	1,916,411	2,017,656
16	SAN MIGUEL	400,026	2,093,351	15	5	1	561	561	906,237	906,237	1	722,259	722,259
17	SANTA MARÍA	402,336	2,093,185	16	1	2	692	711	713,572	733,165	1	713,572	733,165
18	TEXCAPILLA	405,414	2,094,522	17	17	1	1384	1384	0	0	12	4,376,510	4,376,510
19	TLACOTEPEC	402,035	2,097,183	18	13	1	152	160	397,710	418,642	13	397,710	418,642
20	VENTA MORALES (EL PEDREGAL)	402,118	2,096,229	19	13	1	447	471	784,646	826,775	13	784,646	826,775
21	EJIDO VENTA MORALES (LA LAGUNA)	405,701	2,099,162	20	12	1	280	295	664,923	700,544	12	664,923	700,544
22	YUYTEPEC	398,729	2,091,575	21	5	1	253	266	863,358	907,721	1	787,839	828,321
25	PALO AMARILLO	404,236	2,098,585	22	12	1	141	148	443,111	465,109	13	688,801	722,997
26	LAS TABLAS (LAS TABLAS SAN JOSÉ)	400,928	2,097,895	23	13	1	409	431	1,330,670	1,402,246	13	1,330,670	1,402,246
27	RASTROJO LARGO	399,653	2,089,418	24	1	2	81	85	342,928	359,862	1	342,928	359,862
28	LAS PAREDES	397,477	2,092,658	25	5	1	37	39	112,397	118,473	1	143,978	151,760
30	AGUA DEL TRÉBOL	398,210	2,092,992	26	5	1	74	78	171,399	180,664	1	230,815	243,291
31	OJO DE AGUA	405,841	2,098,024	27	12	1	339	339	496,770	496,770	12	496,770	496,770
33	NUEVA SANTA MARÍA	404,594	2,094,218	28	17	1	376	376	328,918	328,918	12	1,461,592	1,461,592
37	SAN JOSÉ	400,886	2,095,652	29	13	1	188	198	202,487	213,257	13	202,487	213,257
51	LAS LÁGRIMAS	410,907	2,105,345	30	12	1	232	244	2,085,433	2,193,301	12	2,085,433	2,193,301
52	EL AGOSTADERO	401,902	2,099,673	31	12	1	141	148	806,158	846,180	13	710,807	746,095
53	LOS LIRIOS	398,623	2,098,953	32	5	1	134	141	557,991	587,140	13	678,711	714,166
55	LA ANGOSTURA	394,155	2,095,013	33	5	1	14	15	75,358	80,741	13	100,419	107,592

Total	14,372	14,727	20,986,908	21,864,307	29,366,831	30,301,137
-------	--------	--------	------------	------------	------------	------------

VILLA DE ALLENDE MODELO B

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	SAN JOSE VILLA DE ALLENDE	379,492	2,142,691	1	1	1	1523	1523	0	0	1	0	0
7	CABECERA DE INDIGENAS	380,598	2,142,161	2	49	1	954	1004	2,317,579	2,439,046	1	1,169,297	1,230,581
33	SAN MIGUEL	377,933	2,145,161	3	50	2	979	1030	2,688,341	2,828,388	1	2,859,344	3,008,299
36	SANTA MARIA	379,132	2,145,491	4	50	2	705	742	2,781,686	2,927,675	1	1,990,315	2,094,771
47	LENGUA DE VACA	375,437	2,151,142	5	8	1	64	67	139,672	146,219	1	599,929	628,051
69	COLCHONES	380,340	2,142,962	6	1	1	246	259	218,981	230,553	1	218,981	230,553
76	LOMA BONITA	378,909	2,142,756	7	44	1	113	113	242,281	242,281	1	66,301	66,301
10	CUESTA DEL CARMEN	373,784	2,152,568	8	8	1	631	631	0	0	8	0	0
44	MACIA (EJIDO DE MACIA)	374,494	2,153,977	9	8	1	511	511	806,287	806,287	8	806,287	806,287
13	JACAL, EL	385,668	2,145,848	10	10	1	1168	1186	0	0	10	0	0
29	SAN ISIDRO	385,309	2,144,436	11	22	2	427	449	631,617	664,159	10	622,055	654,105
39	SOLEDAD DEL SALITRE (EL SALITRE)	386,071	2,144,923	12	27	1	222	234	852,283	898,352	10	223,915	236,019
14	LOMA DE JUAREZ	385,515	2,149,261	13	13	2	1238	1238	0	0	13	0	0
15	SABANA DEL MADROÑO	390,036	2,139,673	14	18	1	528	556	2,639,018	2,778,966	15	1,013,602	1,067,353
23	SABANA DEL ROSARIO (SAN MIGUEL)	388,496	2,140,819	15	15	1	1031	1031	0	0	15	0	0
73	EJIDO DE SAN MARTIN	389,016	2,139,894	16	13	2	156	164	1,560,027	1,640,029	15	165,564	174,054
18	SABANA DE LA PEÑA (LA PEÑA)	390,722	2,137,424	17	18	1	351	369	1,365,050	1,435,053	18	1,365,050	1,435,053
24	SABANA TABORDA PRIMERA SECCION	394,605	2,137,647	18	18	1	621	654	0	0	18	0	0
42	SABANA TABORDA SEGUNDA SECCION	392,602	2,134,554	19	18	1	190	200	700,128	736,977	18	700,128	736,977
59	SABANA DE SAN JERONIMO	392,297	2,137,261	20	18	1	485	511	1,134,798	1,195,632	18	1,134,798	1,195,632
25	SAN CAYETANO (BARRIO DE SANTIAGO)	384,569	2,142,689	21	10	1	552	581	1,846,617	1,943,632	22	923,843	972,378
26	SAN FELIPE SANTIAGO	383,849	2,144,200	22	22	2	2719	2823	0	0	22	0	0
2	AVENTURERO, EL	371,913	2,135,272	23	24	2	330	347	653,830	687,512	24	653,830	687,512
30	SAN JERONIMO TOTOLTEPEC	373,756	2,135,997	24	24	2	3595	3595	0	0	24	0	0
66	CHIRIMOYO, EL	370,418	2,134,422	25	24	2	179	188	660,784	694,008	24	660,784	694,008
75	CHIQUICHUCA (BARRIO CHIQUICHUCA)	372,921	2,137,540	26	51	1	324	341	1,163,374	1,224,416	24	568,538	598,368
4	BERROS (LOS BERROS)	389,894	2,145,269	27	27	1	1493	1493	0	0	39	16,223,252	16,223,252
5	BOSENCHVE	381,775	2,148,240	28	39	1	599	631	2,039,986	2,148,967	39	2,039,986	2,148,967
6	BUENAVISTA VEINTITRES (AGUA ZARCA)	382,863	2,149,586	29	39	1	738	777	1,986,643	2,091,629	39	1,986,643	2,091,629
8	CERRO DE GUADALUPE	389,003	2,137,896	30	18	1	225	237	1,261,593	1,328,877	39	3,559,632	3,749,479
9	SALITRE DEL CERRO, EL	386,723	2,146,641	31	10	1	680	716	897,375	944,883	39	5,114,390	5,385,152
11	DALIAS, LAS (SAN MIGUEL)	378,025	2,150,079	32	8	1	359	378	1,765,171	1,858,593	39	1,206,337	1,270,182
12	FILIBERTO GOMEZ	390,202	2,143,145	33	27	1	277	277	594,246	594,246	39	3,447,168	3,447,168
16	MESAS DE SAN MARTIN	386,380	2,138,312	34	15	1	492	518	1,614,504	1,699,824	39	7,030,316	7,401,837
19	PIEDRA, LA	378,091	2,151,155	35	8	1	674	709	3,054,643	3,213,267	39	2,006,208	2,110,388
21	SABANA DEL REFUGIO	390,602	2,141,637	36	27	1	276	290	1,021,220	1,073,021	39	3,804,711	3,997,703
22	EJIDO LA SABANA DE SAN JERONIMO	387,955	2,138,302	37	15	1	799	841	2,057,371	2,165,518	39	11,951,861	12,580,119
27	SAN FRANCISCO DE ASIS	382,112	2,146,271	38	13	2	492	518	2,228,897	2,346,684	39	2,658,063	2,798,530
32	SAN JUAN BUENAVISTA (LODO PRIETO)	381,039	2,151,565	39	39	1	694	694	0	0	39	0	0
38	BARRIO DE SANTIAGO (EJIDO DE SANTIAGO)	381,084	2,145,078	40	22	2	1070	1126	3,105,061	3,267,569	39	6,941,321	7,304,605
46	CLARIN, EL (LA MESA DEL CLARIN)	378,350	2,154,996	41	8	1	127	134	656,709	692,906	39	553,551	584,062
63	SANTA CRUZ (LA RINCONADA)	374,778	2,136,021	42	24	2	452	452	461,940	461,940	39	7,574,587	7,574,587
72	CINCO, EL (EJIDO BARRIO DE SANTIAGO)	379,522	2,147,118	43	39	1	232	244	1,090,226	1,146,617	39	1,090,226	1,146,617
34	SAN PABLO MALACATEPEC	376,891	2,142,032	44	44	1	1833	1833	0	0	44	0	0
54	MANZANA DE CASHTTE	379,218	2,140,940	45	1	1	453	477	802,659	845,184	44	1,164,322	1,226,007
67	HOYOS, LOS (MANZANA LOS HOYOS)	376,931	2,139,357	46	44	1	384	404	1,027,288	1,080,793	44	1,027,288	1,080,793
3	BATAN CHICO	374,479	2,139,220	47	51	1	118	124	178,054	187,107	50	539,361	566,786
17	MESAS DE ZACANGO (ZACANGO)	384,272	2,141,891	48	22	2	584	615	1,370,533	1,443,284	50	5,139,080	5,411,874
28	SAN ILDEFONSO	380,523	2,139,733	49	49	1	1218	1218	0	0	50	7,609,462	7,609,462
37	SANTA TERESA	375,648	2,143,639	50	50	2	918	918	0	0	50	0	0
40	VARE CHIQUICHUCA	374,577	2,140,726	51	51	1	1530	1553	0	0	50	4,748,641	4,820,026
48	MESAS DE SAN JERONIMO, LAS	373,796	2,137,534	52	51	1	428	451	1,406,420	1,481,998	50	2,730,499	2,877,231
51	BARRIO DE SAN JUAN	382,209	2,143,226	53	49	1	178	187	690,495	725,407	50	1,170,267	1,229,438
52	CASITAS, LAS	380,131	2,146,560	54	1	1	178	187	698,058	733,353	50	952,435	1,000,592
53	LOMA DE SAN PABLO	376,733	2,144,585	55	50	2	799	841	1,150,499	1,210,976	50	1,150,499	1,210,976
68	POTRERO	371,435	2,137,919	56	24	2	53	56	159,744	168,786	50	376,488	397,798
70	SAN MIGUEL LA MAQUINA	375,895	2,145,728	57	50	2	485	511	1,020,192	1,074,883	50	1,020,192	1,074,883
71	SANTA CRUZ	377,425	2,147,562	58	50	2	26	27	111,975	116,282	50	111,975	116,282
74	BUENAVISTA	372,624	2,136,835	59	24	2	149	157	209,905	221,175	50	1,109,400	1,168,965
Total							38,855	39,941	55,063,760	57,842,951		121,780,721	126,121,691

VILLA VICTORIA MODELO B

Clave (1)	Localidad (2)	Coordenadas UTM (3)		Modelo (4)			PA (5)	PT (6)	DPA (7)	DPT (8)	ERO		
		X	Y	i	j	k					j (9)	DPA (10)	DPT (11)
1	VILLA VICTORIA	395,491	2,149,539	1	1	3	3320	3320	0	0	1	0	0
5	CERRITOS DEL PILAR	392,490	2,150,018	2	37	1	759	799	3,089,098	3,251,896	1	2,306,545	2,428,102
10	JESUS MARIA	395,479	2,147,572	3	1	3	1105	1163	2,174,010	2,288,121	1	2,174,010	2,288,121
18	PEÑAS, LAS	395,555	2,150,523	4	1	3	806	824	794,268	812,006	1	794,268	812,006
20	PUERTA DEL PILAR, LA	393,462	2,151,703	5	5	1	1436	1449	0	0	1	4,259,241	4,297,800
23	SAN AGUSTIN DE BERROS SECCION GPE.	398,342	2,148,293	6	1	3	743	782	2,311,720	2,433,062	1	2,311,720	2,433,062
32	SAN PEDRO DEL RINCON	393,680	2,149,181	7	1	3	892	939	1,646,063	1,732,794	1	1,646,063	1,732,794
42	FRESNO SAN AGUSTIN, EL	395,413	2,146,158	8	16	1	537	537	856,261	856,261	1	1,816,145	1,816,145
78	EJIDO LAS PEÑAS	395,627	2,152,951	9	5	1	38	40	94,957	99,955	1	129,742	136,570
80	RANCHO DE LOS PADRES	397,152	2,149,437	10	1	3	334	352	556,055	586,022	1	556,055	586,022
92	DOLORES	393,469	2,147,922	11	16	1	312	312	713,343	713,343	1	807,834	807,834
93	RANCHO LIBERTAD	401,521	2,148,276	12	39	1	305	312	187,033	191,325	1	1,879,047	1,922,173
101	EJIDO SAN PEDRO DEL RINCON	391,226	2,148,488	13	37	1	13	13	27,143	27,143	1	57,093	57,093
3	CASAS COLORADAS	389,362	2,153,541	14	14	2	754	754	0	0	14	0	0
8	ESPINAL, EL	388,830	2,152,438	15	14	2	1285	1285	1,573,927	1,573,927	14	1,573,927	1,573,927
22	SAN AGUSTIN BERROS	393,893	2,145,675	16	16	1	1159	1159	0	0	14	10,521,678	10,521,678
27	SAN FELIPE DE LA ROSA	388,848	2,155,389	17	14	2	608	640	1,165,969	1,227,336	14	1,165,969	1,227,336
39	UNION DE LOS BERROS	391,673	2,145,104	18	61	1	504	506	1,447,066	1,452,808	14	4,409,066	4,426,562
67	AGUA ZARCA	392,330	2,162,316	19	63	2	637	671	1,746,397	1,839,611	14	5,900,378	6,215,312
81	PRESA, LA	389,380	2,151,820	20	14	2	131	131	225,554	225,554	14	225,554	225,554
104	BARRIO EL VIVERO	391,974	2,151,558	21	5	1	639	673	955,345	1,006,178	14	2,095,841	2,207,357
109	MESA DEL ESPINAL	387,312	2,152,078	22	14	2	87	92	219,119	231,712	14	219,119	231,712
115	EJIDO VILLA VICTORIA (EL SALTO)	392,927	2,208,181	23	63	2	233	245	11,325,261	11,908,536	14	12,758,027	13,415,093
116	HACIENDA SUCHITEPEC	392,819	2,156,380	24	31	1	243	245	443,231	446,879	14	1,086,969	1,095,915
128	JESUS MA. MONTE ALTO	392,325	2,146,852	25	16	1	161	161	315,720	315,720	14	1,177,869	1,177,869
134	EJIDO SAN AGUSTIN BERROS	389,519	2,145,824	26	37	1	32	32	34,842	34,842	14	247,003	247,003
2	ALAMEDA, LA	397,547	2,157,366	27	27	2	679	679	0	0	27	0	0
4	CEDROS, LOS	396,348	2,156,574	28	27	2	796	796	1,144,492	1,144,492	27	1,144,492	1,144,492
6	CUADRILLA VIEJA	396,239	2,157,989	29	27	2	954	954	1,382,029	1,382,029	27	1,382,029	1,382,029
13	LOMA DE GUADALUPE	394,782	2,157,997	30	104	1	346	346	1,011,611	1,011,611	27	981,477	981,477
25	SAN DIEGO DEL CERRITO 1A. SECCION	394,341	2,157,385	31	31	1	2020	2020	0	0	27	6,477,143	6,477,143
73	LOMA DEL LIENZO	398,097	2,156,564	32	27	2	866	866	842,113	842,113	27	842,113	842,113
75	JACAL, EL	394,852	2,155,046	33	31	1	104	109	249,033	261,006	27	369,917	387,701
84	LOMA DEL MOLINO	397,390	2,155,369	34	27	2	193	203	386,673	406,707	27	386,673	406,707
108	BARRIO DEL CERRILLO	396,915	2,153,896	35	74	2	261	275	872,892	919,714	27	920,622	970,004
137	EX-HACIENDA DE AYALA	396,025	2,156,207	36	27	2	314	331	600,915	633,449	27	600,915	633,449
7	DOLORES VAQUERIAS	389,991	2,146,805	37	37	1	954	954	0	0	37	0	0
9	HOSPITAL, EL (SAN ANTONIO EL HOSPITAL)	404,440	2,148,875	38	38	1	1126	1126	0	0	38	0	0
124	HOSPITAL PROPIEDAD	400,908	2,148,310	39	39	1	464	464	0	0	38	1,659,643	1,659,643
93	RANCHO LIBERTAD	401,521	2,148,276	40	39	1	11	12	6,745	7,359	38	32,785	35,766
12	PROPIEDAD LAGUNA SECA	395,431	2,139,241	41	41	1	1029	1029	0	0	41	0	0
16	EJIDO DE LOS PADRES	401,042	2,151,475	42	38	1	413	435	1,767,165	1,861,299	41	5,558,798	5,854,908
77	SITIO CENTRO, EL (EL SITIO)	402,216	2,152,760	43	43	1	1595	1595	0	0	41	24,125,646	24,125,646
105	BARRIO LOS MATORRALES	409,540	2,148,080	44	85	1	276	291	1,518,496	1,601,023	41	4,595,020	4,844,750
106	BARRIO DE LOS VELAZQUEZ	408,144	2,148,948	45	85	1	116	122	449,466	472,714	41	1,855,424	1,951,394
117	EJIDO DE JESUS MARIA 2A. SECCION	402,738	2,152,388	46	85	1	157	157	416,241	416,241	41	2,361,506	2,361,506
118	RANCHO SANTA BARBARA	401,430	2,147,661	47	39	1	149	157	123,977	130,634	41	1,540,412	1,623,119
14	SAN LUIS LA MANZANA	402,605	2,138,463	48	48	1	1100	1100	0	0	48	0	0
29	SAN LUIS LA GAVIA	402,210	2,140,925	49	48	1	883	883	2,201,247	2,201,247	48	2,201,247	2,201,247
43	SAN AGUSTIN ALTAMIRANO 2A. SECC.	403,268	2,142,456	50	81	2	655	689	1,008,751	1,061,114	48	2,651,085	2,788,699
133	SAN AGUSTIN ALTAMIRANO 3A. SECC.	403,731	2,141,716	51	48	1	167	167	574,803	574,803	48	574,803	574,803
17	PALIZADA	384,427	2,156,985	52	52	1	912	912	0	0	52	0	0
19	POTRERO DE SAN DIEGO	386,312	2,155,436	53	14	2	671	706	2,408,906	2,534,557	52	1,637,225	1,722,624
56	ATOLE, EL	382,165	2,158,813	54	52	1	206	217	599,163	631,157	52	599,163	631,157
57	MILPAS, LAS	382,979	2,158,470	55	52	1	257	271	533,043	562,081	52	533,043	562,081
58	CAMPO NUEVO	383,225	2,155,978	56	52	1	185	195	290,034	305,711	52	290,034	305,711
61	CATORCE, EL	385,113	2,154,859	57	52	1	458	482	1,023,002	1,076,609	52	1,023,002	1,076,609
86	BARRIO DE LOS AVIONES	383,263	2,157,361	58	52	1	195	205	238,490	250,720	52	238,490	250,720
88	BUENAVISTA	402,044	2,147,965	59	39	1	195	205	231,390	243,256	52	3,859,336	4,057,251
129	LOMA LARGA (LA AVANZADA)	385,335	2,157,625	60	52	1	67	68	74,410	75,521	52	74,410	75,521
24	SAN AGUSTIN CANOHILLAS 2A. SECCION	393,087	2,142,606	61	61	1	644	644	0	0	61	0	0

44	SAN AGUSTIN CANOHILLAS 1A. SECCION	392,219	2,143,687	62	61	1	125	125	173,368	173,368	61	173,368	173,368
26	SAN DIEGO SUCHITEPEC	392,139	2,159,581	63	63	2	661	661	0	0	63	0	0
63	BARRIO DE LOS REMEDIOS	390,175	2,157,810	64	63	2	303	319	801,269	843,581	63	801,269	843,581
64	LOMA DE LA ROSA	390,247	2,160,023	65	63	2	326	343	633,352	666,379	63	633,352	666,379
65	BARRIO DE LOS CEDROS	391,194	2,157,557	66	63	2	535	563	1,194,701	1,257,227	63	1,194,701	1,257,227
103	SANTA CRUZ DE LA ROSA	389,525	2,156,338	67	14	2	327	344	916,024	963,646	63	1,362,028	1,432,837
110	AGUA GRANDE	392,938	2,161,728	68	63	2	626	659	1,434,345	1,509,957	63	1,434,345	1,509,957
111	CERRILLO CHICO	391,702	2,159,645	69	63	2	663	672	292,717	296,691	63	292,717	296,691
113	BARRIO DE LA PROVIDENCIA	392,376	2,155,398	70	31	1	28	29	78,238	81,032	63	117,294	121,483
131	MESA, LA	392,757	2,160,622	71	63	2	282	297	341,570	359,738	63	341,570	359,738
138	BARRIO CERRILLO GRANDE	390,327	2,158,885	72	63	2	269	283	522,005	549,173	63	522,005	549,173
30	SAN LUIS EL ALTO	403,431	2,134,555	73	73	1	674	674	0	0	73	0	0
31	SAN MARCOS DE LA LOMA	399,435	2,156,095	74	74	2	2111	2111	0	0	74	0	0
41	CAMPANILLA, LA	401,099	2,156,547	75	74	2	1180	1219	2,034,822	2,102,074	74	2,034,822	2,102,074
46	BARRIO DE SAN ISIDRO	399,478	2,158,647	76	90	1	656	690	2,409,831	2,534,731	74	1,673,898	1,760,655
49	VENTA DE OCOTILLOS (OCOTILLOS)	399,561	2,152,590	77	43	1	805	827	2,141,069	2,199,583	74	2,823,537	2,900,702
85	BARRIO DE CENTRO DEL CERRILLO	399,868	2,160,612	78	90	1	487	487	834,300	834,300	74	2,209,677	2,209,677
102	SAN ROQUE	397,816	2,153,246	79	74	2	677	713	2,219,130	2,337,134	74	2,219,130	2,337,134
114	BARRIO DE SAN MIGUEL	400,606	2,157,042	80	74	2	495	495	745,432	745,432	74	745,432	745,432
11	EJIDO DE LAGUNA SECA	403,597	2,143,961	81	81	2	714	714	0	0	81	0	0
28	SAN JOAQUIN DEL MONTE	405,072	2,146,935	82	38	1	712	749	1,452,596	1,528,082	81	2,363,392	2,486,209
35	SANTIAGO DEL MONTE	400,922	2,145,420	83	83	1	2140	2140	0	0	81	6,522,397	6,522,397
132	COLONIA DR. GUSTAVO BAZ	403,318	2,146,329	84	81	2	791	833	1,886,467	1,986,633	81	1,886,467	1,986,633
36	EJIDO DEL SITIO LOMAS DE GPE.	405,241	2,151,514	85	85	1	957	957	0	0	85	0	0
38	TURCIO PRIMERA SECCION (TURCIO)	398,372	2,138,118	86	86	1	1372	1372	0	0	86	0	0
47	TURCIO SEGUNDA SECCION	399,063	2,141,588	87	93	1	709	709	1,419,156	1,419,156	86	2,508,383	2,508,383
48	TURCIO TERCERA SECCION	399,155	2,137,253	88	86	1	632	632	737,480	737,480	86	737,480	737,480
140	TURCIO LA LOMA	400,560	2,137,921	89	73	1	584	615	2,583,791	2,720,945	86	1,282,657	1,350,744
15	MINA VIEJA	400,693	2,162,114	90	90	1	1080	1080	0	0	90	0	0
91	CENTRO DEL CERRILLO	398,006	2,161,053	91	91	1	2027	2027	0	0	90	5,855,970	5,855,970
125	BARRIO DE PUENTECILLAS	397,356	2,159,581	92	104	1	532	532	857,791	857,791	90	2,228,618	2,228,618
33	SANSON	399,773	2,143,459	93	93	1	494	494	0	0	93	0	0
34	SANTA ISABEL DEL MONTE	398,826	2,146,169	94	93	1	920	920	2,641,637	2,641,637	93	2,641,637	2,641,637
98	SAN AGUSTIN ALTAMIRANO	395,523	2,144,989	95	61	1	1127	1186	3,840,421	4,041,472	93	5,091,235	5,357,769
100	RANCHO SAN JOSE	399,983	2,149,821	96	39	1	1127	1186	1,996,993	2,101,539	93	7,174,176	7,549,754
119	RANCHO LA ESPERANZA	402,592	2,146,887	97	39	1	149	157	328,513	346,151	93	661,252	696,756
120	SAN AGUSTIN MONTE ALTO	393,450	2,144,786	98	16	1	157	157	155,914	155,914	93	1,014,302	1,014,302
121	RANCHO PROVIDENCIA DE LOS PADRES	400,194	2,151,019	99	85	1	149	157	755,664	796,237	93	1,128,185	1,188,759
122	HACIENDA SAN ANTONIO	398,539	2,141,898	100	41	1	149	157	609,224	641,934	93	296,478	312,396
123	RANCHO EL GIGANTE	403,236	2,147,344	101	38	1	149	157	290,157	305,736	93	775,494	817,132
135	EJIDO DE LAGUNA SECA 2A. SECCION	398,550	2,143,835	102	93	1	223	223	285,340	285,340	93	285,340	285,340
136	EJIDO SAN AGUSTIN ALTAMIRANO 1A. SECCION	397,962	2,142,977	103	41	1	259	273	1,168,695	1,231,867	93	485,467	511,708
127	SAN ANTONIO DEL RINCON	396,109	2,160,603	104	104	1	383	383	0	0	104	0	0
37	SUCHITIMBER (MESA DE SUCHITIMBER)	383,753	2,151,917	105	14	2	390	410	2,277,348	2,394,135	104	5,890,279	6,192,345
59	LOMA DEL BURRO	383,017	2,155,365	106	52	1	49	52	105,241	111,684	104	690,923	733,224
60	VAQUERIAS	380,031	2,153,447	107	52	1	71	75	400,645	423,217	104	1,249,481	1,319,874
62	OJO DE AGUA	382,913	2,152,814	108	14	2	258	272	1,674,298	1,765,151	104	3,953,298	4,167,818
66	LOMA DE SAN JOSE	394,825	2,160,364	109	104	1	615	615	803,037	803,037	104	803,037	803,037
89	CAPULIN, EL	383,795	2,153,976	110	14	2	212	223	1,183,651	1,245,067	104	2,964,410	3,118,224
107	BARRIO DEL PANTEON	392,045	2,158,505	111	63	2	265	279	286,069	301,182	104	1,211,868	1,275,891
112	BARRIO DEL NUEVO BOSQUE	391,618	2,155,372	112	5	1	287	302	1,178,614	1,240,214	104	1,978,512	2,081,918
126	BARRIO DE RAMEJE	394,264	2,159,107	113	104	1	498	498	1,182,756	1,182,756	104	1,182,756	1,182,756
139	BARRIO DE CENTENARIO	395,513	2,158,362	114	91	1	288	303	1,056,452	1,111,476	104	667,756	702,535
116	HACIENDA SUCHITEPEC	392,819	2,156,380	115	31	1	5	5	9,120	9,120	104	26,765	26,765
Total							68,195	69,456	99,796,709	103,701,195		210,772,772	216,733,786