

**LOCALIZACIÓN DE RED DE PRESTADORES DE SERVICIO PARA LA
ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE LA OBESIDAD INFANTIL**

JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

**Universidad de La Sabana
Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas
Chía, Colombia
2021**

LOCALIZACIÓN DE RED DE PRESTADORES DE SERVICIO PARA LA ATENCIÓN Y PREVENCIÓN DE LA OBESIDAD INFANTIL

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para obtener el título de

MAGÍSTER EN GERENCIA DE OPERACIONES

(Modalidad de Profundización)

JUAN JOSÉ HERNÁNDEZ SÁNCHEZ

Director

EDGAR LEONARDO DUARTE FORERO

Universidad de La Sabana

Escuela Internacional de Ciencias Económicas y Administrativas

Chía, Colombia

2021

DEDICATORIA

*A mi madre Martha Sánchez, a mi hermano
César Hernández y Ericka Sánchez, por todo
su apoyo y amor.*

A la familia Sánchez, por creer en mí.

*A mi Padre Juan Hernández, a mis abuelos
Efrén y Aurora Sánchez, y a mi madrina
Guadalupe Martínez.*

*A mis alumnos, para que siempre trabajen
por alcanzar sus sueños.*

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis, el maestro Edgar Leonardo Duarte Forero, por su orientación, paciencia, profesionalismo, apoyo, enseñanzas y tiempo; ya que con su guía este trabajo de grado es una realidad.

Al Director de la Maestría, Carlos Alberto Vega Mejía, quien siempre estuvo al pendiente de mi avance y bienestar como estudiante. Al mismo tiempo agradezco a todos y a cada uno de los profesores de la Maestría en Gerencia de Operaciones de la Universidad de la Sabana, por las clases y el conocimiento que me brindaron, lo cual me ayudó a ser un mejor profesionista.

Al Instituto Colombiano de Crédito Educativo y Estudios Técnicos en el Exterior Mariano Ospina Pérez – ICETEX, por otorgarme la oportunidad de estudiar un posgrado fuera de México.

Finalmente, agradezco a la familia Romero, José Martínez, Alejandra Castaño, Irina Apolo, Jonathan Joaquín y Geovenel Martínez por su compañerismo, cariño y amistad, especialmente quiero agradecer a mi novia, Thaynara Nunes, por su amor e impulso para que saliera adelante y concluyera este proyecto.

Resumen:

Los problemas de localización de instalaciones médicas tienen dentro de sus objetivos proporcionar a los pacientes equidad y una mejora en el acceso a la atención médica. Una aplicación específica consiste en asegurar una cobertura a los habitantes de una región, para acceder a un sistema de Salud.

En este proyecto se aborda la configuración de una red de prestadores de servicios especializados en salud para zonas urbanas buscando analizar la relación entre cobertura y costos fijos para el prestador. Se presenta una solución al problema a través de herramientas de programación matemática utilizando programación entera mixta bajo el objetivo de máxima cobertura. El modelamiento obtenido es aplicado a un caso de diseño de la red de tratamiento cognitivo conductual para obesidad infantil en la ciudad de Bogotá, Colombia. Los resultados obtenidos permiten evidenciar la posibilidad de reducir el número de instalaciones disponibles manteniendo niveles aceptables de cobertura.

Palabras clave: Localización de Instalaciones; Problemas de Cobertura; Gerencia de Operaciones en Atención Médica; Obesidad Infantil.

Abstract:

The problems of locating medical facilities have among their objectives to provide patients with equity and an improvement in access to medical care. A specific application consists of ensuring coverage for the inhabitants of a region, to access a Health system.

This project addresses the configuration of a network of specialized health service providers for urban areas, seeking to analyze the relationship between coverage and fixed costs for the provider. A solution to the problem is presented through mathematical programming tools using mixed integer programming under objectives of maximum coverage and minimization of costs. The modeling obtained is applied to a design case of the cognitive behavioral treatment network for childhood obesity in the city of Bogotá, Colombia. The results obtained show the possibility of reducing the number of facilities available while maintaining acceptable levels of coverage.

Keywords: Facility Location; Covering Problems; Healthcare Operations Management; Childhood Obesity.

TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	ii
TABLA DE CONTENIDO.....	iv
LISTA DE TABLAS	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
ACRÓNIMOS.....	ix
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del problema.....	1
1.2 Pregunta de investigación	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	3
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	3
1.4 Justificación y alcance	3
1.5 Organización del documento	4
2. ESTADO DEL ARTE / REVISIÓN DE LA LITERATURA	6
2.1 Gestión de Operaciones en la atención médica.....	6
2.2 Localización de instalaciones.....	7
2.2.1 <i>Problemas de Cobertura</i>	9
2.3 Localización de instalaciones en el área de salud	12
2.4 Enfoques de modelado para problemas de localización	13
2.5 Mecanismos para solución de problemas de localización.....	14
3. TRATAMIENTO COGNITIVO CONDUCTUAL	20
3.1 Requerimientos operativos para la implementación del Tratamiento Cognitivo Conductual.....	25
4. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA Y OFERTA DE SERVICIOS.....	27
5. MODELO MATEMÁTICO	35
5.1 Asignación de pacientes a CDP	35
5.2 Instalaciones disponibles.....	35
5.3 Medición de Distancias.....	35
5.4 Cálculo de las capacidades máximas por CDP	37
5.5 Cálculo de la demanda mínima por cada CDP.....	39
5.6 Funciones Objetivo	41

5.6.1	Maximización de Cobertura.....	41
5.6.2	Minimización del Costo de Instalación.....	41
5.7	Modelamiento matemático del problema.....	41
6.	SOLUCIÓN AL PROBLEMA	45
6.1	Solución Localización red de CDP para el tratamiento a pacientes de 0-4 años	46
6.2	Solución Localización red de CDP para el tratamiento a pacientes de 5-19 años	48
6.3	Solución Localización red de CDP para el tratamiento a pacientes de 5-19 años con aumento al doble en la capacidad de atención.....	49
7.	ANÁLISIS DE ESCENARIOS	52
7.1	Análisis de solución de localización de CDP para pacientes de 0-4 años.....	52
7.2	Análisis de solución de localización de CDP para pacientes de 5-19 años.....	55
7.3	Análisis de solución de localización de CDP para pacientes de 5-19 años con aumento en capacidad de atención	59
7.4	Análisis de Costo y Demanda	62
8.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	64
9.	REFERENCIAS.....	66
10.	ANEXOS	70
A.	ANEXO 1 Tratamiento Cognitivo Conductual (0-4 años).....	70
B.	ANEXO 2 Tratamiento Cognitivo Conductual (5-19 años).....	70
C.	ANEXO 3 Registro de pacientes atendidos con obesidad infantil en Bogotá	70
D.	ANEXO 4 Densidad demográfica por rango de edad por UPZ.....	71
E.	ANEXO 5 Estimado de pacientes por rango de edad y por UPZ	73
F.	ANEXO 6 Coordenadas UTM de las IPS y UPZ para el cálculo de distancias.....	75
G.	ANEXO 7 Código GAMS	79

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Número de atenciones y personas atendidas por departamento en Colombia en el año 2019.	29
Tabla 2. EPS con el mayor número de atenciones a pacientes con obesidad infantil en el año 2019.	31
Tabla 3. Número de atenciones a pacientes con obesidad infantil en la EPS017 en el año 2019.	31
Tabla 4. Segmentación de la EPS017 por tipo de prestador.	31
Tabla 5. Estimación de demanda de pacientes con obesidad infantil por localidad.	34
Tabla 6. Costo de consulta de la EPS017.	39
Tabla 7. Estimado de costo de apertura de CDP.	41
Tabla 8. Condiciones actuales de la EPS017.	45
Tabla 9. Parámetros de escenarios para ejecutar el modelo.	46
Tabla 10. Porcentaje de cobertura alcanzada para pacientes de 0-4 años dependiendo de la distancia de cobertura y las instalaciones disponibles.	47
Tabla 11. Porcentaje de cobertura alcanzada para pacientes de 5-19 años dependiendo de la distancia de cobertura y la capacidad instalada.	48
Tabla 12. Porcentaje de cobertura alcanzada para pacientes de 5-19 años dependiendo de la capacidad de atención aumentada, la distancia de cobertura y la capacidad instalada.	50
Tabla 13. Análisis de estado actual de la red de IPS para pacientes de 0-4 años versus resultado del modelo.	53
Tabla 14. Asignación de CDP para pacientes de 0-4 años.	53
Tabla 15. Análisis de estado actual de la red de IPS para pacientes de 5-19 años versus resultado del modelo.	56
Tabla 16. Asignación de CDP para pacientes de 5-19 años.	57
Tabla 17. Análisis de estado actual de la red de IPS para pacientes de 5-19 años versus resultado del modelo con aumento en la capacidad de atención.	60
Tabla 18. Asignación de CDP para pacientes de 5-19 años con aumento en la capacidad de atención.	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Frecuencia de utilización de problemas básicos de localización que se utilizan en la literatura de localización de centros de salud. (Ahmadi-Javid et al., 2017).....	9
Figura 2. Métodos de optimización. (Soroudi, 2019).	15
Figura 3. Estructura de las técnicas de optimización heurística. (Soroudi, 2019).	16
Figura 4. Frecuencias de los métodos de solución utilizados en la literatura para la ubicación de centros de salud. (Ahmadi-Javid et al., 2017)	19
Figura 5. Determinantes de sobrepeso y obesidad infantil. (Monasta et al., 2010).	21
Figura 6. Niveles de tratamiento de la obesidad infantil (Temple et al., 2016).	22
Figura 7. Disciplinas que intervienen en el TTC (Autoría Propia).	23
Figura 8. Mapa de la terapia cognitivo-conductual para la obesidad (Dalle Grave et al., 2020).	25
Figura 9. Número de pacientes colombianos con diagnóstico de Obesidad (SISPRO, 2021).	28
Figura 10. Proyección de Número de pacientes colombianos con diagnóstico de Obesidad Infantil (SISPRO, 2021).	28
Figura 11. Número de pacientes colombianos con diagnóstico de Obesidad Infantil seccionados por rangos de edad (SISPRO, 2021).	29
Figura 12. Localización actual de la oferta de servicios de la EPS017 (Autoría Propia, 2021).	32
Figura 13. Densidad de personas por hectárea, según UPZ. (Secretaria Distrital de Planeación, 2018). ...	33
Figura 15. Cobertura para pacientes de 0-4 años versus instalaciones disponibles para varios radios de cobertura.	46
Figura 16. Costo de instalación de CDP para pacientes de 0-4 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura.	47
Figura 17. Cobertura para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura	48
Figura 18. Costo de instalación de CDP para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura.	49
Figura 19. Cobertura para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura con el aumento en la capacidad de atención.	50
Figura 20. Costo de instalación de CDP para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura con aumento en la capacidad de atención.	51
Figura 21. Curva de compensación de cobertura de demanda para pacientes de 0-4 años versus capacidad instalada.	52
Figura 22. Porcentaje de demanda de pacientes de 0-4 años versus costo de instalación.....	53
Figura 23. Ubicación de los CDP con radio de 7 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 0-4 años.	54

Figura 24. Ubicación de los CDP con radio de 8 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 0-4 años.	55
Figura 25. Curva de compensación de cobertura de demanda para pacientes de 5-19 años versus capacidad instalada.	55
Figura 26. Porcentaje de demanda de pacientes de 5-19 versus costo de instalación.	56
Figura 27. Ubicación de los CDP con radio de 6 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.	58
Figura 28. Ubicación de los CDP con radio de 7 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.	58
Figura 29. Curva de compensación de cobertura de demanda con aumento de capacidad de atención para pacientes de 5-19 años versus capacidad instalada.	59
Figura 30. Porcentaje de demanda con capacidad aumentada para pacientes de 5-19 versus costo de instalación.	60
Figura 31. Ubicación de los CDP con aumento de capacidad de atención con radio de 5 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.	62
Figura 32. Ubicación de los CDP con aumento de capacidad de atención con radio de 6 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.	62
Figura 33. Gráfica de dispersión para la localización de CDP de demanda cubierta versus costo de instalación.	63

ACRÓNIMOS

Abreviatura	Significado
CDP	Centros de Detección y Prevención
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
EPS	Entidad Promotora de Salud
GAMS	Sistema de Modelado Algebraico General
HER	Sistema de Registros Electrónico de Salud
HOM	Gestión de Operaciones en atención Médica
IPS	Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud
km	Kilómetros
LP	Modelo de Programación Lineal
MINLP	Modelo de Programación No Lineal de Enteros Mixtos
MIP	Modelo de Programación Entera Mixta
NLP	Modelo de Programación No Lineal
OMS	Organización Mundial para la Salud
QCP	Modelo de Programación Cuadrática
REPS	Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud
SISPRO	Sistema de Integrado de Información de la Protección Social
TCC	Tratamiento Cognitivo Conductual
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
UPZ	Unidad de Planeamiento Zonal

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Esta investigación pretende abordar desde la perspectiva académica un modelo de localización de instalaciones con el objetivo de proporcionar un Tratamiento Cognitivo Conductual a pacientes diagnosticados con obesidad infantil, el modelo matemático está basado en los modelos de Daskin (1995) y Ahmadi-Javid et al. (2017) el cual considera un problema máxima cobertura con restricciones como diferentes radios de cobertura, el número de instalaciones a habilitar y la demanda mínima para poder habilitar una instalación.

En muchos contextos de localización, el servicio a pacientes (para el caso del área de salud), desde las instalaciones que se están habilitando, depende de la distancia entre el paciente y la instalación asignada. Por lo general, aunque no siempre se asigna a los pacientes a la instalación más cercana, lo que lleva a considerar un servicio adecuado si el paciente se encuentra dentro de una distancia determinada en la instalación y se considera inadecuado si excede algún valor crítico.

El modelo desarrollado en esta investigación considera diferentes radios de cobertura, una variación en el número de instalaciones a habilitar, la capacidad en las instalaciones y lo más importante, los pacientes (demanda) que serán atendidos por alguna instalación de la red óptima que arroje el modelo.

El origen de desarrollar un proyecto entorno al tratamiento y prevención de la obesidad infantil es debido a que este padecimiento cada año presenta un incremento constante en el número de pacientes que reciben este diagnóstico, en el caso de Colombia, la cifras en cuanto obesidad infantil han ido en aumento considerando que para esta investigación se tienen datos desde el 2015.

Por lo anterior se refleja la necesidad de optimizar una red de instalaciones que den tratamiento a pacientes diagnosticados con obesidad infantil y prevengan a otros niños y adolescente de convertirse en pacientes. Se busca dar atención a la mayor cantidad de pacientes, que estos tengan que desplazarse la menor distancia posible y que el costo de habilitar instalaciones sea el óptimo.

1.2 Pregunta de investigación

Los desafíos y oportunidades en los complejos sistemas de prestación de servicios de salud actuales requieren que los líderes se hagan cargo de sus operaciones. Un fuerte enfoque en las operaciones puede reducir los costos, aumentar la seguridad, mejorar los resultados clínicos y permitir que una organización sea competitiva (McLaughlin & Olson, 2017).

La gestión de operaciones en las organizaciones sanitarias es un tema crucial, ya que crea valor añadido en los procesos y mejora la calidad de vida de los pacientes. Las decisiones clave efectivas tomadas por un gerente de operaciones pueden proporcionar grandes contribuciones al éxito de una organización de atención médica. Hasta el siglo XXI, se había dedicado relativamente poco talento o recursos técnicos a mejorar las operaciones o medir el desempeño de los sistemas de salud. Las funciones del sistema de salud actual apuntan a la mejora al abordar dimensiones clave de calidad como la seguridad, la eficacia, el enfoque en el paciente, la puntualidad, la eficiencia y la distribución equitativa. Los diseños de la cadena de suministro para los proveedores de servicios de salud están impulsados por la necesidad de brindar apoyo para los elementos esenciales de los diversos servicios que brindan estos proveedores. Debido a la eficiencia y el control de la efectividad, la gestión de operaciones juega un papel importante en el logro de las dimensiones de calidad de una organización de atención médica (Göleç & Karadeniz, 2020).

En los problemas de localización de instalaciones médicas se han planteado varios objetivos. En un inicio, el acceso a las instalaciones médicas se considera un tema crucial y una preocupación importante para la planificación gubernamental. Otro objetivo se centra en la definición y las medidas del acceso a la atención médica; luego, la mejora del acceso a las instalaciones médicas se establece como un objetivo en la planificación de las instalaciones sanitarias. Recientemente, la mejora de la equidad del acceso a la atención médica ha impulsado la investigación sobre la asignación razonable de instalaciones de atención médica. Además de mejorar la equidad y el acceso, la reducción de las métricas de costos, el aumento de la flexibilidad en la selección de la ubicación del servicio y el número de personas dentro de una distancia de viaje aceptable de al menos una instalación son temas que se investigan cada vez más, lo que se ha pensado como objetivos en la resolución de problemas de ubicación y asignación. Evidentemente, se han

planteado varios objetivos a la hora de resolver el problema de la localización de instalaciones médicas (Zhang et al., 2016).

Por lo tanto, este proyecto busca proponer una herramienta que facilite la toma de decisiones para alcanzar una cobertura máxima de pacientes diagnosticados con obesidad infantil, localizando de manera óptima instalaciones que les brinden el servicio y tratamiento que requieren, y responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo tomar decisiones para la localización de centros de servicios para la atención de la obesidad infantil bajo los requerimientos del Tratamiento Cognitivo Conductual?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Desarrollar una herramienta para el proceso de toma de decisiones basado en modelamiento matemático para la localización estratégica de una red de centros de servicios de tratamiento de la obesidad infantil bajo los requerimientos del Tratamiento Cognitivo Conductual.

1.3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la oferta y demanda del objeto de estudio sobre la cual se realizará el proyecto teniendo en cuenta disponibilidad de datos y requerimientos técnicos.
- Definir las variables de decisión, parámetros y restricciones asociadas a la prestación del servicio de tratamientos para la obesidad infantil.
- Construir el modelo matemático sobre localización de instalaciones para la definición de las zonas geográficas en donde se deben implementar los servicios requeridos.
- Resolver el modelo obtenido utilizando herramientas computacionales y matemáticas de la gestión de operaciones.
- Plantear escenarios de aplicación de los resultados obtenidos.

1.4 Justificación y alcance

La obesidad infantil se considera un problema que ha ido en incremento en los últimos años, y según los datos del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia los países de Latinoamérica son los que tienen mayor tasas de crecimiento anual de esta enfermedad. El caso de estudio en Colombia hace evidente este incremento anual en el número de pacientes.

El que los pacientes tengan acceso a un servicio que les brinde un tratamiento eficiente y cerca de su domicilio podría contrarrestar el aumento de casos, minimizar la deserción al tratamiento y prevenir que su estado se agrave y padezcan de alguna enfermedad consecuencia de la obesidad.

Por tal razón, con el desarrollo de esta investigación se espera proponer un modelo que dé apoyo en la toma de decisiones para la localización estratégica de Centros de Detección y Prevención, esperando que estos den una amplia cobertura a los pacientes, tengan un acceso equitativo y se le brinde un servicio de calidad.

1.5 Organización del documento

Para iniciar esta investigación, se presenta de manera sintetizada la estructura que lleva el actual trabajo de grado y con lo que se pretende dar un mejor entendimiento de lo que en el cuerpo de este se presentará.

El segundo capítulo abordará de manera más amplia la importancia de la gestión de operaciones en la atención médica, cuáles son los objetivos y factores que se consideran al momento de la toma de decisiones en el área de salud.

Además, se tratará el tema de la localización de instalaciones y como se plantea un modelo matemático bajo este enfoque. También, se detallará como es la estructura de un modelo de cobertura máxima, porque se eligió este método para ser aplicado en el problema a investigar, cuáles son los mecanismos de solución y que impacto tienen en el área de salud.

El tercer capítulo explicará porque se ha decidido plantear la pregunta de investigación enfatizando este tratamiento, como se constituye, se evidenciará el beneficio que ha tenido en los pacientes que se han sometido a esta terapia, y lo más importante, se establecerán las pautas operativas que se necesitan para su implementación en los Centros de Detección y Prevención.

En el cuarto capítulo se mostrará la parte estadística de la investigación con datos del Sistema Integrado de Información de la Protección Social, con lo que se detallará el número de pacientes que se han diagnosticado con obesidad infantil desde el 2015, que departamento tiene el mayor número de casos, donde se ubican los pacientes, a que Entidad Promotora de Salud se encuentran afiliados y cuál es el estado actual de la red de servicios de dicha entidad.

El quinto capítulo explicará la estructura bajo la cual fue diseñado el modelo que se implementó en este trabajo de investigación, cuáles son las funciones objetivo que se establecieron y que restricciones de se decidió considerar.

El sexto capítulo muestra cuáles fueron los resultados de la implementación del modelo, se explica cómo fue que se llegó a los resultados y se hace una comparación se las condiciones previas con los datos obtenidos posterior a ejecutar el modelo.

En el séptimo capítulo se realiza un análisis más detallado de los escenarios óptimos sugeridos, además de que se realiza una detalla comparación de estos escenarios con las condiciones previas y entre ellos.

También, se muestra un nuevo diseño de la estructura de la posible red de instalaciones que cumplirían con los objetivos de este trabajo de investigación, respetando las restricciones establecidas en el modelo.

Finalmente, el último capítulo se comenta sobre los resultados y escenarios que se obtuvieron con el modelo matemático propuesto. Del mismo modo se hacen recomendaciones personales de acuerdo con los resultados tomando en cuenta las observaciones e información proporcionada a lo largo de los capítulos anteriores.

2. ESTADO DEL ARTE / REVISIÓN DE LA LITERATURA

2.1 Gestión de Operaciones en la atención médica

Uno de los temas problemáticos más urgentes en nuestra sociedad lo constituye la prestación de servicios de salud bajo estándares asequibles, de inclusión, de calidad y oportunos (Dai & Tayur, 2019). La primera generación de académicos que trabajó en este tema se centró en lo que se conoce como HOM 1.0, analizando las operaciones de una sola organización de atención médica (por ejemplo, un hospital o una clínica) y desarrollando herramientas de apoyo para la toma de decisiones y proyectos de consultoría para mejorar operaciones específicas. El advenimiento de HOM 2.0 permitió mirar más allá de las mejoras operativas puntuales y examinar las interacciones de múltiples entidades, introduciendo una perspectiva de ecosistema de atención médica en el que estas organizaciones proveedoras y otros tipos de entidades están conectadas de una manera muy compleja.

La baja disponibilidad de recursos en los sistemas sanitarios ha tendido a fomentar la formación de colas en este tipo de sistemas. Los sistemas de salud evidencian de manera natural variaciones en el control de la capacidad y la demanda. Ello a su vez congestiona los sistemas que se deberían estudiar de acuerdo con la teoría de líneas de espera. Una alta proporción de las oportunidades de mejora existentes se centran en definir los horarios electivos y obtener un mayor control sobre los procesos de descarga para acercar la demanda y la disponibilidad de recursos (Roehrich, 2015).

McLaughlin & Hays (2008), mencionan que los sistemas de salud en la actualidad presentan numerosos desafíos a la vez que están surgiendo oportunidades para mejorar. Existen varias tendencias abren la puerta a un cambio significativo en la gestión de operaciones de atención médica:

- Los sistemas de información están madurando y las herramientas de *big data* y analítica se están volviendo cada vez más poderosas
- La automatización, robótica y el internet de las cosas comenzarán a reemplazar el trabajo humano de la atención médica
- Las cadenas de suministro y las relaciones entre los planes de salud, los sistemas de atención médica y los proveedores individuales están cambiando a través de fusiones, asociaciones y adquisiciones

- La atención primaria se está rediseñando con nuevos modelos de proveedores y nuevas herramientas, como la telemedicina, y las aplicaciones móviles
- La medicina está experimentando un cambio rápido con la adopción de herramientas de medicina de precisión, como la farmacogenómica, para individualizar el tratamiento de los pacientes.
- Un nuevo énfasis en la responsabilidad y gestión de la salud de la población conducirá a entornos y estilos de vida más saludables.

McLaughlin & Olson (2017), establecen que a gerencia de prestación de servicios de salud ha sido lenta para adoptar tecnologías de la información, pero muchas organizaciones están implementado sistemas de registros electrónicos de salud (EHR) y otras herramientas automatizadas. Aunque la implementación de estos sistemas a veces ha sido un gran objetivo por cumplir desde el punto de vista organizativo, los EHR ahora son lo suficientemente maduros para tener un impacto positivo en las operaciones.

De manera complementaria, la ingeniería informática y la ciencia de datos ha evolucionado para proporcionar nuevas herramientas significativas en las siguientes áreas:

- Almacenamiento y recuperación de grandes datos: alto volumen, alta velocidad y gran variedad de tipos de datos.
- Nuevas herramientas analíticas para informes y predicciones.
- Interoperabilidad de dispositivos y bases de datos.

2.2 Localización de instalaciones

Las decisiones sobre la localización de las instalaciones desempeñan un papel fundamental en el diseño estratégico de sistemas para una amplia gama de organizaciones públicas y privadas (por ejemplo, instalaciones minoristas, almacenes, centros de aerolíneas, estaciones de policía, hospitales, etc.). Esto se debe a que las instalaciones mal ubicadas o un número inadecuado de instalaciones pueden aumentar en gran medida los costos de capital e inventario y degradar la calidad de los servicios prestados al cliente (Ahmadi-Javid et al., 2017).

Algunos problemas de localización de instalaciones implican tomar decisiones estratégicas. Por ser de largo plazo, estas decisiones deber ser revisadas periódicamente a la luz de algún cambio en

las condiciones subyacentes. Por ejemplo, en un sistema logístico se pueden observar inesperadas interrupciones en el flujo de productos o servicios como consecuencia de alguna falla, o podría ser evidente que los valores de algunos parámetros, como los niveles de demanda, puedan tener una variación no pronosticada. Para estos casos, puede ser de mucha ayuda considerar la incertidumbre, incorporándola en los modelos para la toma de decisiones (Laporte & Nickel, 2015).

Los problemas y modelos de localización pueden clasificarse de varias maneras. La clasificación puede basarse en la topografía que se usa (por ejemplo, problemas planos versus problemas de ubicación discreta, problemas en árboles versus aquellos en gráficos generales y problemas con diferentes métricas de distancia) o el número de instalaciones a ubicar. Los problemas también se pueden clasificar en función de la naturaleza de los parámetros de entrada (por ejemplo, si son estáticas o dinámicas, se conocen con certeza o solo en sentido probabilístico). Otro modo de clasificar los modelos es en función de productos o demanda (único o múltiple), donde se debe considerar como estas variables se distribuyen dentro del sistema a evaluar, es decir, la oferta de servicios, si las instalaciones cuentan con un límite de capacidad, así como una variedad de otros criterios de clasificación, y lo más importante, si existe uno o más objetivos a cumplir (Daskin, 1995).

Actualmente, la teoría de localización contempla problemáticas en las instalaciones de servicio, lo que genera una doble tarea dentro de su estudio: por un lado, encontrar la localización óptima, y, por otro lado, determinar la asignación de la demanda a las instalaciones, con el fin de evitar que rebase la capacidad de estas. Con esta doble necesidad de solución surgen los modelos de localización-asignación. Estos modelos evalúan las localizaciones actuales de los centros de servicio y generan alternativas, con el fin de lograr una distribución espacial más eficiente o equitativa. Además, se enfocan en encontrar las ubicaciones óptimas de localización y determinan las mejores vinculaciones de la demanda, entendida en términos de asignación (Rodríguez Sánchez et al., 2016).

Ahmadi-Javid (2017), proporciona un análisis de los problemas básicos de localización clasificados por su enfoque de modelado y por la aplicación (Figura 1). El autor realiza una revisión de literatura y sus resultados identifican los métodos más utilizados para estudiar los

problemas de localización de instalaciones médicas. El 54% de los problemas revisados se basan en la cobertura de la demanda, el 43% se utilizan el enfoque de minimización de costos (p-mediana) y un 4% de los problemas estudiados abordan otro tipo de enfoques de modelado.

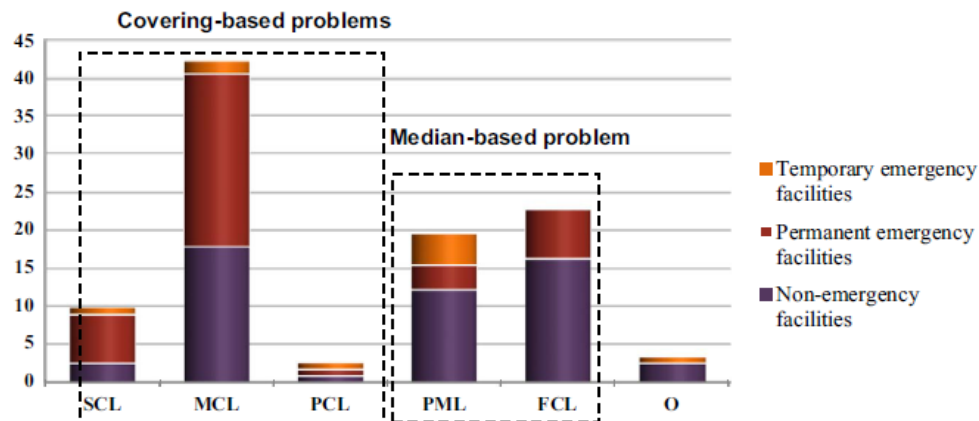


Figura 1. Frecuencia de utilización de problemas básicos de localización que se utilizan en la literatura de localización de centros de salud. (Ahmadi-Javid et al., 2017).

2.2.1 Problemas de Cobertura

En general, hay dos tipos de problemas de cobertura: cobertura de conjunto y cobertura máxima. En un problema de cobertura de conjuntos, se debe minimizar el costo total de ubicar un conjunto de instalaciones para que cada cliente esté cubierto. Particularmente, si todas las instalaciones tienen el mismo costo de ubicación, esto es equivalente a minimizar el número total de instalaciones que se ubicarán. Un análisis rápido de una solución al problema de cobertura del conjunto generalmente mostrará que con solo unas pocas instalaciones es posible cubrir un porcentaje importante de la demanda y que solo al ubicar un número alto se puede lograr una cobertura completa. Dado que puede que no sea posible ubicar tantas instalaciones como sea necesario (por ejemplo, debido a restricciones presupuestarias), una variante natural es maximizar el número de clientes que están cubiertos (o, de manera equivalente, minimizar los clientes no cubiertos) al ubicar un número fijo de instalaciones (Laporte & Nickel, 2015).

Al decidir dónde localizar las instalaciones que brindan un servicio, sucede con bastante frecuencia que un cliente pueda recibir este servicio solamente si está dentro de una cierta distancia de cobertura a la instalación más cercana. Por ejemplo, una ambulancia podrá responder efectivamente a una llamada de emergencia para prestar su servicio si está ubicada a menos de un

determinado tiempo del lugar donde ha ocurrido la emergencia. En este caso, el estándar de tiempo de respuesta (que puede variar según cada contexto) corresponde al tiempo de cobertura. Los problemas que tienen esta propiedad reciben el nombre de problemas de cobertura y, cuando se cumple la condición anterior, se dice que el cliente está cubierto (Laporte & Nickel, 2015).

En su revisión de literatura, Ahmadi (2017), caracteriza los centros de detección y prevención (CDP) como instalaciones que brindan diferentes servicios de salud, definidos con base en programas de detección y prevención (locales o nacionales) con las siguientes características clave:

1. Cada centro debe tener un número mínimo de clientes para mantener su acreditación para continuar en funcionamiento.
2. Las personas tienen más flexibilidad en cuanto a cuándo o dónde recibir los servicios y es posible que no se refieran al CDP más cercano; por lo tanto, la participación en los programas de detección y prevención depende de la accesibilidad y la calidad de los servicios prestados por los CDP.

En la normatividad o en las políticas de planificación, el concepto de cobertura es fundamental cuando se trata de servicios públicos, donde se prioriza que la demanda o población quede cubierta dentro del radio de distancia o tiempo de desplazamiento hacia el punto de servicio más próximo. Cuando se cumple con esta condición, la distancia y tiempo son interpretados como satisfactorios y por lo tanto la población que se encuentra incluida dentro de ese radio quedaría en un nivel de accesibilidad aceptable a dicho servicio (Santana Castañeda et al., 2015).

Otro punto para considerar en un modelo de cobertura de conjuntos es el número de instalaciones necesarias para cubrir toda la demanda. Un modelo de cobertura de conjuntos trata todos los nodos de demanda de forma idéntica. En el modelo de cobertura de conjuntos, tiene la misma importancia un nodo de servicio que genera 10 llamadas al año como un nodo que genera 10.000 de demandas de servicio en un año. Es igual de importante cubrir la demanda en una ciudad con 10.000.000 de habitantes que un poblado con 100 personas. Las variables de oferta y demanda llevan a considerar la necesidad de fijar la cantidad de instalaciones que se ubicarán para maximizar la cantidad de demanda cubierta, y para resolver esta problemática se requiere de un modelo de localización de cobertura máxima (Daskin, 1995).

Daskin propone formular el modelo de cobertura máxima de la siguiente manera:

Conjuntos

I El conjunto de ubicaciones de clientes.

J El conjunto de instalaciones candidatas.

Parámetros de entrada

a_{ij} 1, si la instalación candidata $j \in J$ puede cubrir la demanda en el nodo $i \in I$; 0, en caso contrario

h_i demanda en el nodo $i \in I$.

p número de instalaciones para localizar.

Variables de decisión

X_j 1, si se localiza una instalación en el sitio $j \in J$; 0, en caso contrario

Z_i 1, si el nodo $i \in I$ queda cubierto; 0 en caso contrario

Función objetivo

$$\text{MAX} \sum_{i \in I} h_i Z_i \quad (1)$$

Sujeto a

$$Z_i \leq \sum_{j \in J} a_{ij} X_j, \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} X_j \leq p \quad (3)$$

$$X_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$Z_i \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I \quad (5)$$

La función objetivo (1) maximiza la demanda cubierta. El conjunto de restricciones (2) establece que la demanda en el nodo $i \in I$ no se puede cubrir a menos que se seleccione al menos uno de los sitios de las instalaciones que cubren el nodo i . La restricción (3) estipula que no se pueden localizar más de p instalaciones. Finalmente, las restricciones (4) y (5) son de integralidad sobre las variables de decisión.

2.3 Localización de instalaciones en el área de salud

En el cuidado de la salud, las decisiones sobre la ubicación de las instalaciones tienen un impacto serio en la comunidad más allá de las métricas de costos y servicios. Por ejemplo, es probable que las instalaciones sanitarias de difícil acceso estén asociadas con un aumento de la morbilidad y la mortalidad. Desde esta perspectiva, el modelado de la ubicación de las instalaciones para el cuidado de la salud puede llegar a tener un mayor nivel de complejidad que en otras áreas. Las tendencias poblacionales son claros ejemplos de esta afirmación. Situaciones como la disminución de las tasas de natalidad, la mayor longevidad y el crecimiento asociado de la población anciana inciden en la atención médica y los problemas asociados de ubicación de las instalaciones de atención médica. Debido a esto, el modelado de ubicación de centros de salud sigue atrayendo un gran interés de la comunidad de investigación de operaciones (Ahmadi-Javid et al., 2017).

Los servicios de salud son un área importante dentro del estudio de localización, debido a que estos servicios son de gran importancia en muchos aspectos, especialmente los servicios públicos, donde se busca que la población tenga mejores niveles de acceso y equidad. (Rodríguez Sánchez et al., 2016).

Ahmadi-Javid et al. (2017), en su publicación explican que los centros de salud se consideran ampliamente en diferentes campos de investigación. Los campos de investigación son: gestión de operaciones sanitarias, cadenas de suministro de servicios sanitarios, cadenas de suministro farmacéuticas, gestión de residuos sanitarios, gestión de operaciones ante desastres, logística de emergencia, distribución de socorro, logística humanitaria, seguridad nacional, respuesta a emergencias, estaciones de servicios de emergencia, vehículos de servicios de emergencia y cadena de suministro con interrupciones.

Zhang et al. (2016), desarrollaron un trabajo de investigación para la localización de nuevas

instalaciones en la ciudad Hong Kong. Dado que esta ciudad tiene un crecimiento poblacional constante consideran necesario construir nuevas instalaciones de salud con el fin de aumentar la equidad y accesibilidad para toda la población, minimizar la población que quede fuera de un óptimo servicio de salud y reducir los costos de construcción de nuevas instalaciones. Para esta investigación utilizaron un enfoque multiobjetivo de localización – asignación de instalaciones.

Guerriero et al. (2016), desarrollaron un caso de estudio enfocado en mejorar la eficiencia y reducir los costos del sistema de salud en la ciudad de Calabria en Italia. Su caso consistió en dos partes, la primera parte se enfocó en analizar y comparar la red de servicios de salud existente utilizando modelos de localización de instalaciones. En la segunda parte, considerando los planes de reorganización el área de salud propuesta por el gobierno local se trabajó en un problema de localización-asignación de la red de servicios de salud pública.

Las decisiones de localización-asignación de instalaciones han ganado una importancia creciente en el éxito de las redes de servicios de salud, ya que involucran políticas estratégicas con efectos a mediano y largo plazo. Estas decisiones pueden garantizar que se cumplan los objetivos del diseño del sistema, como minimizar los costos sociales o, de manera equivalente, maximizar los beneficios de las personas. También proporcionan un marco para investigar problemas de accesibilidad al servicio, comparar la calidad (en términos de eficiencia) de decisiones de ubicación previas y generar soluciones alternativas para sugerir sistemas de servicio más eficientes o para mejorar los existentes (Zarrinpoor et al., 2017).

2.4 Enfoques de modelado para problemas de localización

Se han recomendado numerosos estudios en el campo de la ubicación y asignación de instalaciones para resolver aplicaciones del mundo real, como la planificación regional. Estos estudios han demostrado la eficacia de aplicar el análisis de ubicación para la planificación del desarrollo de los servicios de salud, especialmente en los países en desarrollo (Rahmaniani et al., 2014)

Los modelos de ubicación se han formulado utilizando los resultados médicos como objetivo, extendiendo las decisiones tradicionalmente basadas en operaciones en los modelos de ubicación al área de toma de decisiones médicas. A manera de ejemplo, Denton (2013) organizó las regiones de trasplante realizando una formulación enfocada en un modelo de programación entera mixta

(MIP). Los métodos para resolver problemas de MIP, caen dentro del alcance del campo de la programación matemática debido a la naturaleza discreta de las decisiones.

Un problema de programación entera mixta se caracteriza porque algunas o todas las variables son números enteros, su objetivo es una función lineal, cuadrática o, a veces, un criterio más general para ser minimizado o maximizado, las restricciones son lineales (o no lineales), igualdades (o desigualdades) y existen algunos subconjuntos (no vacíos) de variables enteras y reales que juegan el papel de argumentos. En una perspectiva más amplia, la programación entera mixta se utiliza para modelar problemas de diseño y procesos de decisión (Ioan et al., 2020).

Desde el plano computacional, los problemas MIP pueden ser construidos y desarrollados en aplicativos de propósito específico. En particular, el Sistema de Modelado Algebraico General (GAMS) es una herramienta de modelado y programación para modelos de optimización. En GAMS es posible desarrollar modelos de programación lineal (LP), programación de enteros mixtos (MIP), programación no lineal (NLP), cuadrática programación (QCP), programación no lineal de enteros mixtos (MINLP) y problemas de optimización multiobjetivo (Soroudi, 2017).

2.5 Mecanismos para solución de problemas de localización

Los métodos utilizados para resolver los problemas de optimización se clasifican en métodos clásicos y heurísticos como se muestra en la Figura 2.

Muchos problemas de programación son *NP-Hard*. Por lo general, estos problemas difíciles incluyen una multitud de parámetros, y la cantidad de estos parámetros puede ser arbitrariamente grande. Sin embargo, en muchos entornos prácticos, el tamaño del conjunto de parámetros puede ser pequeños. Por ejemplo, el número de artículos diferentes que se procesan en una tienda minorista puede ser limitada, lo que da como resultado una instancia de programación limitada. Otro ejemplo es un conjunto de fechas de entrega planificadas para un proveedor que dan como resultado una instancia de programación con un número limitado de fechas de vencimiento diferentes (Hermelin et al., 2019).

Cuando se configura un modelo de localización, las formulaciones y sus variantes suelen ser computacionalmente desafiantes y tener tiempos de solución elevados, incluso cuando se utilizan métodos de solución avanzados. Para estos casos se recurre a las heurísticas. Aunque la solución

heurística puede no ser óptima, la facilidad de implementación junto con una solución rápida y casi óptima pueden hacer de esta un método adecuado (Denton, 2013).

Los métodos heurísticos están inspirados en la naturaleza. El concepto básico de estas técnicas se describe en la Figura 3. En todo método heurístico se genera una población aleatoria inicial y se intenta mejorarla utilizando algún operador que modifique la población (solución). La forma en que cada método modifica la población distingue ese método de las otras técnicas. Los métodos heurísticos también se denominan técnicas iterativas. El número de iteraciones necesarias para optimizar la función objetivo tiene una relación inversa con el número de población. Si se aumenta el número de población, entonces se puede explorar mejor el espacio de la solución; sin embargo, tarda más en ejecutarse (Soroudi, 2017).

La mayoría de los métodos clásicos son técnicas basadas en gradientes (en problemas no lineales). Esto los hace inadecuados para problemas de optimización a gran escala. (Soroudi, 2017). Se han desarrollado una variedad de algoritmos exactos y heurísticos para resolver problemas de localización de centros de salud. Por ejemplo, se pueden desarrollar programas de números enteros matemáticos de uno o varios períodos para explorar las relaciones y compensaciones entre costo, cobertura, ubicación del servicio y capacidad en la planificación de servicios de salud. También se puede utilizar un modelo binario de programación entera para determinar el número y la ubicación óptimos de las unidades primarias de salud (Beheshtifar & Alimoahmmadi, 2015).

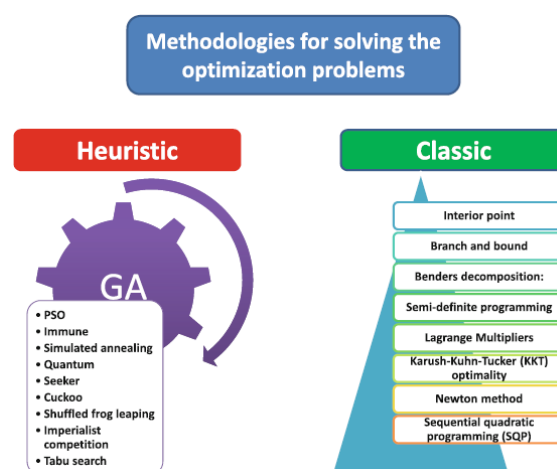


Figura 2. Métodos de optimización. (Soroudi, 2019).

Ahmadi-Javid et al. (2017) resumen los tipos de métodos de solución que se han utilizado para resolver los problemas de ubicación de centros de salud (Figura 4). A partir de esta figura, se puede ver que se han desarrollado una variedad de métodos de solución en las clases A y B (precisos e inexactos) para resolver estos problemas. Aproximadamente la mitad de los artículos utilizaron software de optimización de propósito general (43%) y, entre estos, la mayoría de los problemas son de no-emergencia.

La teoría de localización de instalaciones se refiere a los métodos de modelado, formulación y solución de una clase de problemas que se ocupan de esta localización en un espacio determinado. Dado que la localización de instalaciones es un tema crítico a nivel de planificación estratégica, la teoría de localización y sus aplicaciones han tenido una mayor atención por parte de la comunidad de investigación de operaciones (Ahmadi-Javid et al., 2017)

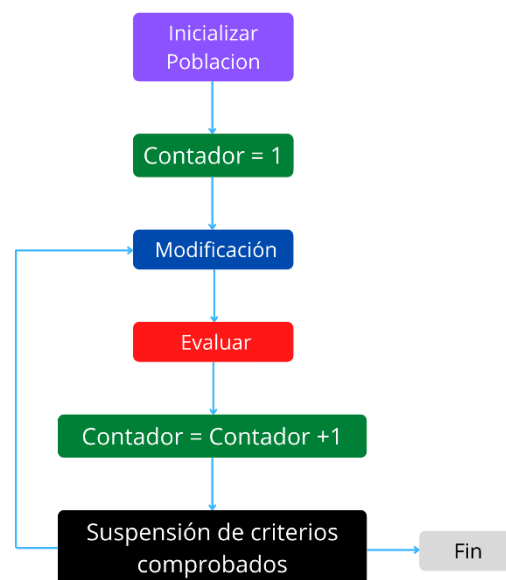


Figura 3. Estructura de las técnicas de optimización heurística. (Soroudi, 2019).

Ahmadi (2017), propone que los CDP requieren un enfoque de decisión de ubicación que incorpore la característica de un número mínimo de clientes y la característica de calidad y accesibilidad de los servicios. La primera característica se puede satisfacer agregando restricciones en las que cada centro tiene al menos un número mínimo de clientes. El segundo se puede gestionar considerando

la elasticidad de las demandas en función de la distancia o el tiempo de espera.

El problema localización de CDP se puede formular de la siguiente manera:

Conjuntos

I El conjunto de ubicaciones de clientes.

J El conjunto de instalaciones de CDP candidatos.

Parámetros de entrada:

d_{ij} La distancia de viaje (o tiempo) desde el punto de cliente $i \in I$ a la instalación candidata de CDP $j \in J$.

w_i El tamaño de la población en el punto del cliente i .

σ_{ij} El número esperado de clientes en el punto de cliente $i \in I$ que reciben los servicios de un CDP en la instalación candidata $j \in J$.

D_i La distancia o el tiempo de viaje máximo aceptable (distancia o tiempo de cobertura) desde el punto del cliente $i \in I$.

p El número de CDP que se establecerán.

W_{min} El mínimo de clientes requerido para abrir un CDP.

Variables de decisión

x_j 1, si se establece la localización de un CDP candidato $j \in J$; 0 en caso contrario.

y_{ij} 1, si el punto de cliente $i \in I$ está asignado a un CDP abierto en la instalación candidata $j \in J$; 0 en caso contrario.

Función Objetivo

$$MAX \sum_{j \in J} \sum_{i \in I} \sigma_{ij} y_{ij} \quad (6)$$

Sujeto a

$$\sum_{j \in J} x_j = p \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} y_{ij} \leq 1, \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$\sum_{i \in I} \sigma_{ij} y_{ij} \geq W_{min} x_j, \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$y_{ij} \leq x_j, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (10)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in I, j \in J \quad (11)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \quad \forall j \in J \quad (12)$$

El objetivo de la ecuación (6) es maximizar el número total de clientes que asisten a CDP asignados. Esto es una medida relevante para la participación en programas de detección y prevención operados por los centros asignados. La restricción (7) establece la cantidad p de los CDP que deben habilitarse. La restricción (8) establece que cada punto de cliente es atendido por un máximo de CDP habilitados. La restricción (9) garantiza que cada CDP habilitado tenga un número mínimo de clientes. La restricción (10) muestra que los puntos de la demanda están cubiertos por los CDP abiertos. Las restricciones (11) y (12) son de integralidad.

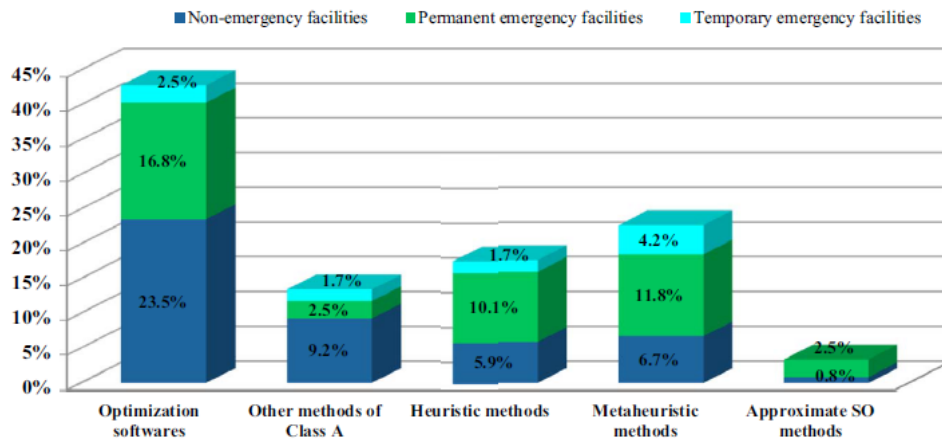


Figura 4. Frecuencias de los métodos de solución utilizados en la literatura para la ubicación de centros de salud. (Ahmadi-Javid et al., 2017)

3. TRATAMIENTO COGNITIVO CONDUCTUAL

La obesidad infantil es un problema de etiología compleja que se origina de la interacción de factores genéticos y ambientales como los patrones y tipo de alimentación, grado de actividad física y su contracara, el sedentarismo. Expertos de la Organización Mundial para la Salud (OMS) reportan que, de seguir las tendencias registradas, en el año 2022 existirán más niños con obesidad que con desnutrición o talla baja. Este problema será más patente en el grupo de niños de 5 a 19 años pues las cifras se han duplicado desde que se comenzó el estudio de la obesidad en la edad pediátrica (Chacín et al., 2019). Estas estimaciones dan oportunidad a que los gobiernos preparen proyectos de gran escala enfocados al diseño de programas de prevención de la obesidad, sobre todo en los individuos con mayor riesgo de padecer este problema, así como el tratamiento en individuos con obesidad, haciendo conciencia de que es un problema que puede afectar al ser humano a lo largo de su vida.

La obesidad constituye un problema de salud muy importante ya que incrementa el riesgo de padecer enfermedades crónicas: diabetes, hipertensión, ictus, osteoartritis, enfermedad coronaria, apnea del sueño y algunos tipos de cáncer (endometrio, mama y colon). El tratamiento no es fácil, no existe ninguna dieta específica que solucione el problema de la obesidad. Sobre todo, hay que evitar esas dietas sin supervisión de un especialista que limitan drásticamente la ingesta de calorías o la variedad de alimentos que se pueden consumir, ya que normalmente conllevan una falta de importantes nutrientes, y/o son difíciles de mantener durante periodos prolongados (Serrano, 2018).

Actualmente, existe una falta de consenso sobre cómo se debe manejar la obesidad infantil en la práctica clínica. Sin embargo, está claro que las estrategias terapéuticas efectivas deberían reconocer que esta es una enfermedad multifactorial en la cual la disfunción metabólica es generalizada, multifacética, interdependiente, y se basa en la interacción entre numerosas fuerzas genéticas y ambientales (Temple et al., 2016). La niñez es considerada un periodo crítico para realizar medidas de prevención, ya que es en esta etapa en la que se presenta un gran número de factores de riesgo implicados en la etiología de la obesidad (Figura 5), particularmente en los niños dentro del contexto familiar (Campos Rivera & Sotelo Quiñonez, 2019).

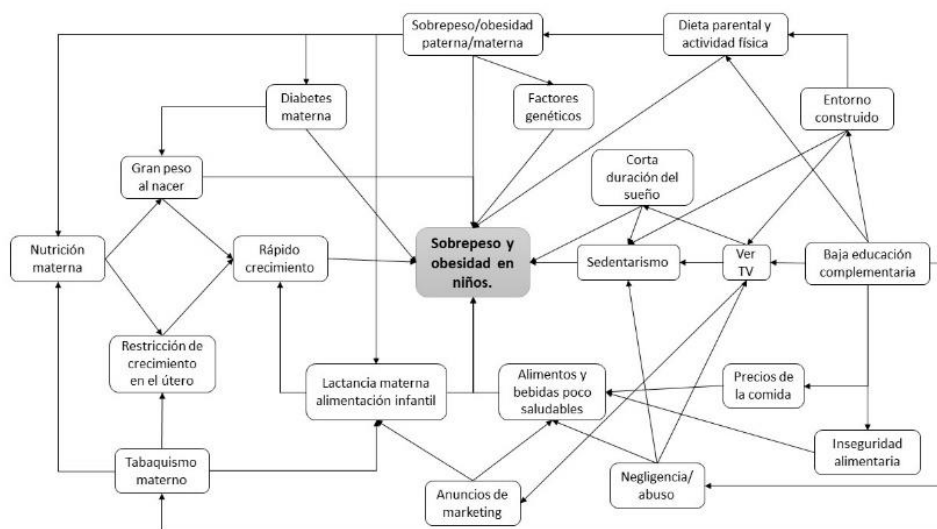


Figura 5. Determinantes de sobrepeso y obesidad infantil. (Monasta et al., 2010).

La Organización Mundial para la Salud ha promovido un plan de acción con el objetivo de detener el aumento acelerado de la epidemia de la obesidad en la adolescencia, de manera que no se registre aumento alguno en las tasas de prevalencia actuales en cada país (OPS/OMS, 2014). Las líneas de acción estratégica son las siguientes:

- a) Atención primaria de salud y promoción de la lactancia materna y la alimentación saludable;
- b) Mejoramiento del entorno con respecto a la nutrición y la actividad física en los establecimientos escolares;
- c) Políticas fiscales y reglamentación de la publicidad, promoción y etiquetado de alimentos;
- d) Otras medidas multisectoriales
- e) Vigilancia, evaluación e investigación

El tratamiento para la obesidad infantil se clasifica en tres niveles (Figura 6), intervención al estilo de vida, farmacoterapia y cirugía bariátrica (Temple et al., 2016), y es en el primer nivel donde se ubica el mayor número de pacientes con este padecimiento. Para la intervención al estilo de vida existe la opción de implementar el Tratamiento Cognitivo Conductual (TCC), el cual se desarrolla en clínicas para el tratamiento de la obesidad.

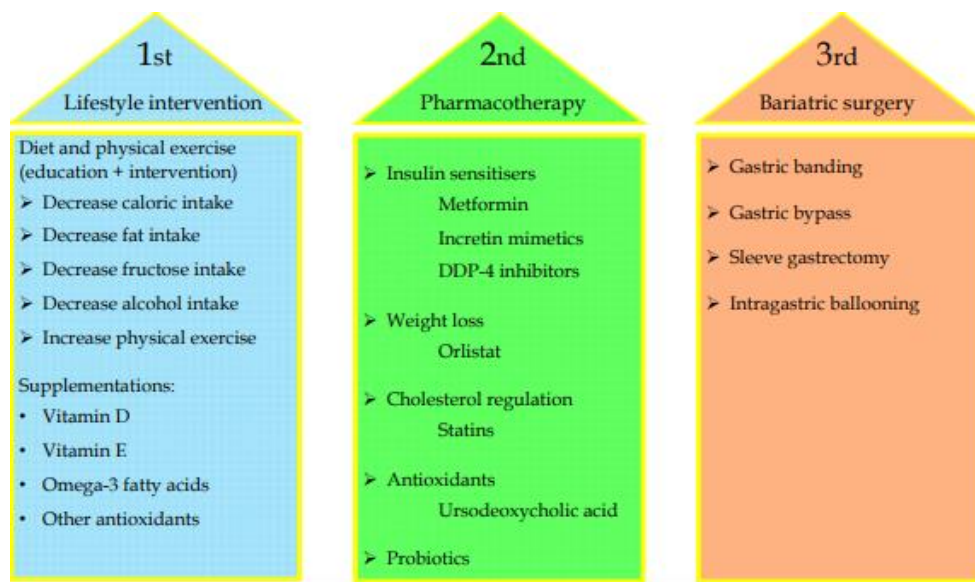


Figura 6. Niveles de tratamiento de la obesidad infantil (Temple et al., 2016).

El TCC es un tratamiento que se enfoca en establecer y mantener una conducta alimentaria adecuada, además de modificar los hábitos de vida del paciente que repercuten en la obesidad, en el que los elementos terapéuticos clave son, a saber: a) la motivación y la psicoeducación; b) las técnicas conductuales; c) la reestructuración cognitiva; d) la imagen corporal, la autoestima y la impulsividad, e) las demandas afectivas, la resolución de problemas o la sintomatología depresiva, y f) el entrenamiento y fortalecimiento de las técnicas de autocontrol y de las habilidades sociales (Figura 7). Lo anterior permite que el paciente descubra nuevas conductas para que, incorporándolas a su vida diaria, tenga como resultado un mayor bienestar y eficacia (De la Vega Morales & Cruz Hernández, 2018).

Los principales objetivos de TCC son ayudar a los pacientes a alcanzar, aceptar y mantener una cantidad saludable de pérdida de peso (es decir, del 5% al 10% de su peso corporal inicial), adoptar y mantener un estilo de vida propicio para el control de peso; y desarrollar una "mentalidad de control de peso" estable. Los especialistas del TCC adoptan un estilo terapéutico diseñado para desarrollar y nutrir una relación de trabajo colaborativo (el terapeuta y el paciente trabajan juntos como un equipo). El tratamiento combina recomendaciones específicas para la dieta y los hábitos de ejercicio de un paciente con procedimientos de formas de terapia tanto conductuales como cognitivas. Los procedimientos principales el TCC son autocontrol, establecimiento de metas,

control de estímulos, manejo de contingencias, sustitución de la conducta, habilidades para aumentar el apoyo social, resolución de problemas y prevención de recaídas. Para que el tratamiento sea efectivo se apoya en estrategias y procedimientos cognitivos específicos, principalmente involucrar a los pacientes para que hagan del tratamiento una prioridad y desempeñen un papel activo en el cambio de sus propios hábitos de actividad física y alimentación (Dalle Grave et al., 2020).



Figura 7. Disciplinas que intervienen en el TCC (Autoría Propia).

Dalle Grave et al. (2020), establecen que el TCC ha sido diseñado para tratar todas las clases de obesidad dentro de un enfoque de atención escalonada que incluye tres niveles de atención (ambulatorio, hospitalario de día y residencial). El TCC para pacientes ambulatorios puede ser administrado individualmente por un solo terapeuta o en grupo por dos terapeutas. Incluye las siguientes fases:

Fase preparatoria. Esto se realiza en una o dos sesiones y tiene como objetivo evaluar la

naturaleza y la gravedad de la obesidad de un paciente, así como cualquier comorbilidad médica y psicosocial asociada, así como involucrar al paciente (s) en el tratamiento.

Fase 1. Esto ha sido diseñado para ayudar a los pacientes a lograr una tasa saludable de pérdida de peso y estar satisfechos con el peso resultante. Dura aproximadamente 24 semanas y se imparte en 16 sesiones, las primeras ocho de las cuales se llevan a cabo una vez a la semana y las ocho restantes cada dos semanas.

Fase 2. Tiene como objetivo ayudar a los pacientes a desarrollar un estilo de vida y una mentalidad propicios para el mantenimiento del peso a largo plazo. Por lo general, dura 48 semanas y se administra en 12 sesiones que se llevan a cabo en intervalos de cuatro semanas.

El TCC se realiza en seis módulos (Figura 8), cada uno de los cuales incluye estrategias y procedimientos específicos que pueden adaptarse al progreso y las barreras individuales del paciente. Los seis módulos se presentan de manera flexible e individualizada, de acuerdo con las necesidades del paciente, en la Fase 1 y la Fase 2. En general, el Módulo 1 se presenta en la primera sesión, el Módulo 2 y 3 en la segunda sesión, el Módulo 4 en la tercera sesión, Módulo 5 cuando el paciente reporta insatisfacción con la pérdida de peso no relacionada con la mala adherencia al programa de dieta y ejercicio, y Módulo 6 al inicio de la Fase 2.

Cada sesión tiene una duración de 45 min (90 min cuando el tratamiento se realiza en grupo), y se divide en cinco partes, concretamente:

1. Pesaje colaborativo durante la sesión (hasta 5 min)
2. Revisar el autocontrol y otras tareas (hasta 10 minutos)
3. Establecimiento colaborativo de la agenda de la sesión (aproximadamente 2 minutos)
4. Elaborar la agenda y acordar las tareas (hasta 30 min).
5. Conclusión de la sesión (alrededor de 3 min). Esto incluye resumir lo que se ha abordado en la sesión, confirmar la (s) asignación (es) de tareas y programar la próxima cita.

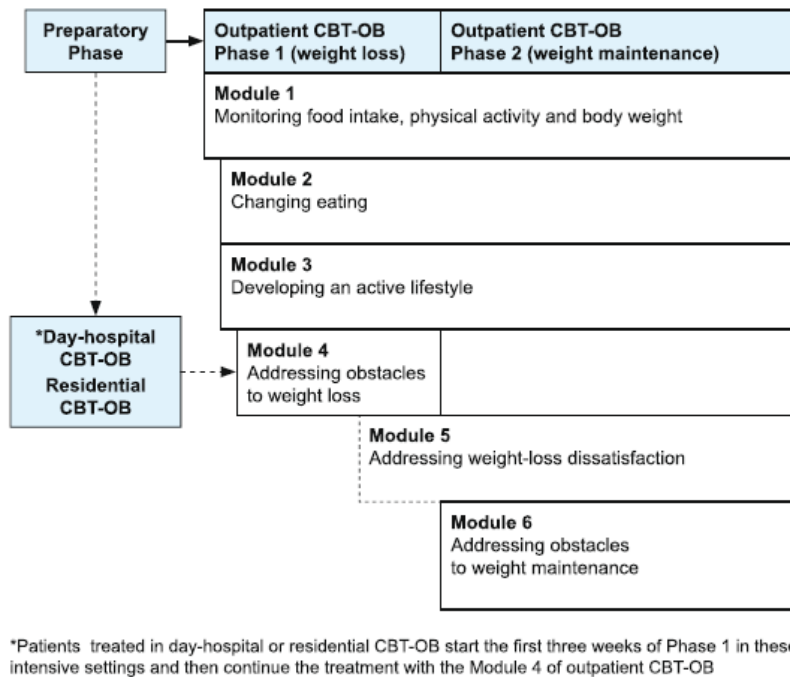


Figura 8. Mapa de la terapia cognitivo-conductual para la obesidad (Dalle Grave et al., 2020).

El TCC tiene el potencial de ser un complemento útil de los tratamientos contra la obesidad y las intervenciones en el estilo de vida para brindar apoyo psicológico, como lo demuestra la mejora en la salud mental, la alimentación emocional y las escalas de aceptabilidad (Tham & Chong, 2020).

Dalle Grave et al., (2020), desarrollaron un estudio sobre la aplicación del TCC en 88 pacientes, de los cuales 77 completaron el tratamiento de 18 meses, obteniendo como resultado una pérdida de peso del 9.9%. Tham & Chong (2020), aplicaron una investigación en 120 pacientes, con una duración de 26 semanas, obteniendo el resultado de una pérdida de peso $8.13 \pm 3.83\%$. Ambos estudios se realizaron en clínicas para el tratamiento de la obesidad siendo este método uno de los tratamientos más efectivos y prometedores.

3.1 Requerimientos operativos para la implementación del Tratamiento Cognitivo Conductual

Los requerimientos operativos son variables importantes para este trabajo de investigación, con estos datos se plantearán la restricción de capacidad por tratamiento e instalación, también se calculará el costo de apertura de instalación suponiendo un salario para los especialistas

involucrados en el tratamiento de los pacientes.

Derivado de que los niños de 0-4 años no pueden seguir un TCC similar al de los niños y adolescentes de entre 5 y 19 años y basado en el control y seguimiento de la salud de los menores de 5 años se propone un tratamiento (ANEXO 1), en el que solo se requiere de una consulta mensual con el pediatra para su vigilancia. En estos casos, los requerimientos mínimos para el CDP corresponderían a un consultorio y un pediatra.

Para niños y adolescentes (5-19 años) se propone un tratamiento (ANEXO 2), en el cual se contempla la activación física previa a la consulta de la especialidad correspondiente (Pediatria, Nutrición y Psicología), donde la periodicidad con cada especialista será de cada 15 días, por lo que deben acudir una vez a la semana a recibir su tratamiento.

En estos casos, los requerimientos mínimos para el CDP corresponden a cuatro consultorios y un pediatra, un psicólogo, un nutriólogo y un activador físico.

4. CARACTERIZACIÓN DE LA DEMANDA Y OFERTA DE SERVICIOS

Para poder alcanzar los objetivos de la investigación, es necesario evaluar los datos estadísticos con los que se cuenta. La disponibilidad de datos estadísticos permite parametrizar adecuadamente modelos matemáticos que permitan definir las mejores soluciones para el diseño de redes de prestadores de servicios para el TCC. En esta sección se abordará la disponibilidad de los datos estadísticos requeridos.

Según el Registro Especial de Prestadores de Servicios de Salud (REPS), Colombia no cuenta con un servicio específico enfocado en el tratamiento del sobrepeso y la obesidad. El servicio que más se aproxima a tratar la obesidad infantil es el de “Detección temprana – alteraciones del crecimiento y desarrollo (menor de 10 años)” cuyo objetivo es disminuir la morbilidad y mortalidad por causas evitables mediante la prevención e identificación oportuna de los problemas que afectan a los niños y niñas menores de diez años (Ministerio de Salud y Protección Social, 2007). También el servicio de “Detección temprana – alteraciones del desarrollo del joven (de 10 a 29 años)”, el cual tienen como objetivo detectar tempranamente los problemas de salud que afectan el desarrollo de la población entre los 10 y 29 años (Ministerio de Salud y Protección Social, 2005).

La caracterización de la demanda de servicios asociados al sobrepeso y obesidad parte por la disponibilidad de datos estadísticos para ello. Sobre este respecto, Colombia cuenta con el Sistema de Integrado de Información de la Protección Social (SISPRO), el cual está conformado por bases de datos que contienen información que se recolecta de todo el sistema de salud. Con este sistema se han realizado trabajos de investigación enfocados en detectar la prevalencia de enfermedades como lupus (Fernández-Ávila et al., 2019), pulmonía reumática (Fernández et al., 2019) y la diabetes (Barengo & Tamayo, 2015). Gracias a la información que se obtiene de las bases de datos se han identificado las tasas y curvas de crecimiento, los rangos de edad que tienen mayor incidencia de estos padecimientos, así como las regiones que presentan el mayor número de casos, entre otros estudios.

Desde el 2015, en Colombia se reporta un incremento en el número de pacientes con diagnóstico de obesidad (Figura 9). En el mismo periodo, con respecto a la obesidad infantil, se presenta una tasa de crecimiento anual promedio del 23,7%. De mantenerse esa tendencia, los casos de obesidad

infantil en Colombia para el año 2025 estarán por encima de los 400.000 (Figura 10).

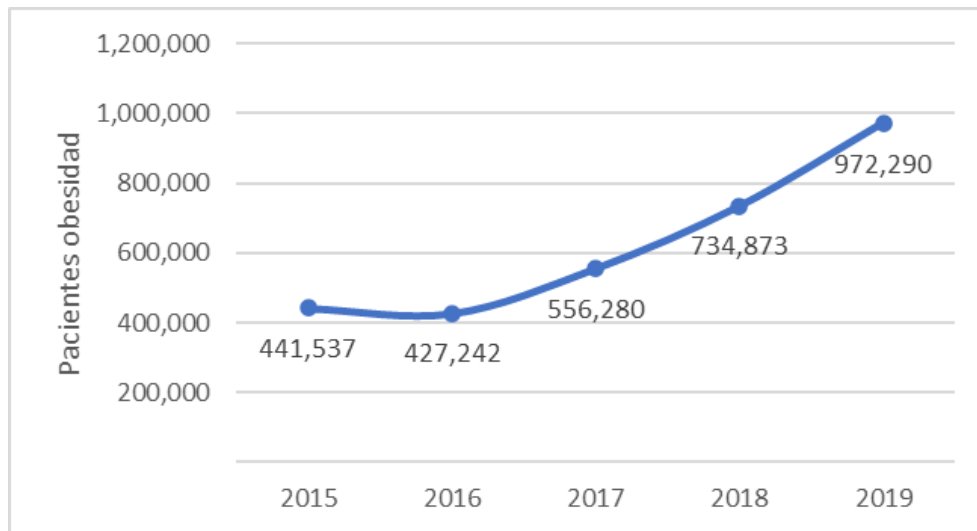


Figura 9. Número de pacientes colombianos con diagnóstico de Obesidad (SISPRO, 2021).

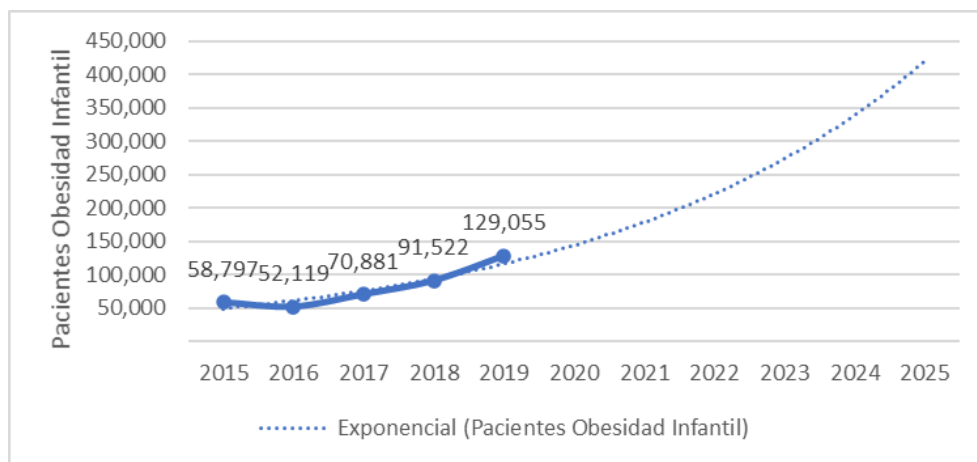


Figura 10. Proyección de Número de pacientes colombianos con diagnóstico de Obesidad Infantil (SISPRO, 2021).

Categorizando la población de pacientes con obesidad infantil bajo los lineamientos del Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF), y apoyado en los quinquenios del Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), se clasificó a los pacientes en los rangos de edad 0-4 años y de 5-19 años, con el propósito de identificar como ha sido el comportamiento de estas poblaciones en específico en los últimos 5 años (Figura 11).

Para conocer la distribución de los más de 129.000 pacientes con obesidad infantil en el año 2019

se ha realizado una clasificación con el número de pacientes por departamento (Tabla 1), lo que será de utilidad para la identificación de cuál de los departamentos será objeto de estudio en la red de instalaciones actual.

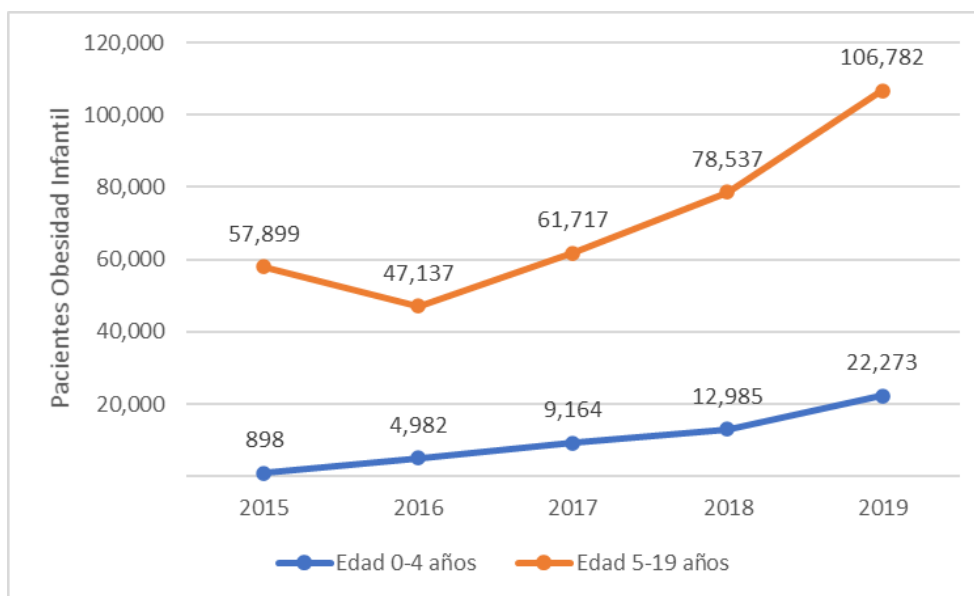


Figura 11. Número de pacientes colombianos con diagnóstico de Obesidad Infantil seccionados por rangos de edad (SISPRO, 2021).

Tabla 1. Número de atenciones y personas atendidas por departamento en Colombia en el año 2019.

Departamento	Número de Pacientes	Departamento	Número de Pacientes	Departamento	Número de Pacientes
Bogotá, D.C.	30.271	Norte de Santander	2.764	La Guajira	985
Antioquia	17.735	Risaralda	2.667	Putumayo	705
Valle del Cauca	14.183	Huila	2.497	Casanare	668
Atlántico	9.284	Magdalena	2.336	Chocó	560
Cundinamarca	8.102	Córdoba	2.334	Arauca	457
Santander	6.765	Caldas	2.243	Guaviare	182

Departamento	Número de Pacientes	Departamento	Número de Pacientes	Departamento	Número de Pacientes
Bolívar	3.938	Cesar	2.007	Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina	131
Nariño	3.809	Sucre	1.890	Amazonas	93
Tolima	3.679	Boyacá	1.700	Guainía	51
Meta	3.053	Quindío	1.610	Vichada	46
Cauca	2.923	Caquetá	1.062	Vaupés	39

Fuente: SISPRO, 2021

El sistema de salud de Colombia establece que todos los habitantes deben estar afiliados a una Entidad Promotora de Salud (EPS), las cuales son responsables de la afiliación y registro de los afiliados, esto en el marco de organizar y garantizar, la prestación del Plan de Salud Obligatorio (POS).

Como se muestra la tabla anterior, Bogotá es el departamento donde se presenta la mayor cantidad de pacientes con obesidad infantil. En 2019, estos pacientes se atendieron en 53 EPS (Anexo 3), de las cuales 7 de estas instituciones superan los 1000 pacientes atendidos durante el año (Tabla 2). Al ser este un trabajo de investigación, no se hará mención del nombre de las instituciones, solo del código con el cual están registrados en el REPS.

Cada EPS cuenta con una red de Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS), estas son entidades, asociaciones y/o personas bien sean, públicas, privadas o con economía mixta que hayan sido aprobadas para prestar de forma parcial y/o total los procedimientos que se demanden con ocasión de cumplir con el POS. Entre las funciones de las IPS está el prestar los servicios en su nivel de atención correspondiente a los afiliados y beneficiarios.

Tabla 2. EPS con el mayor número de atenciones a pacientes con obesidad infantil en el año 2019.

Administradora	Pacientes
	Atendidos
EPS017	7.402
EPS008	4.884
EPS005	4.237
EPSS34	3.765
EPS002	2.662
DDSB11001	1.934
EPS010	1.204

Fuente: SISPRO, 2021

Para realizar el análisis de la red de IPS que brindaron tratamiento a la obesidad infantil en Bogotá, se decidió trabajar con la EPS017, ya que esta administradora fue la que reportó el mayor número de pacientes atendidos durante 2019. Además, se realizó la segmentación por rango de edad (Tabla 3) para poder distinguir como fue que se atendieron a los pacientes conforme a su edad.

Tabla 3. Número de atenciones a pacientes con obesidad infantil en la EPS017 en el año 2019.

Rango de Edad	Número de pacientes
0-4	562
5-19	6.840
Total	7.402

Fuente: SISPRO, 2021

Los pacientes adscritos a esta EPS fueron atendidos en 94 centros de servicio diferentes (Tabla 4), entre IPS y profesionales independientes, los cuales se encuentran ubicados en diferentes puntos de la ciudad de Bogotá (Figura 12), lo cual se tomará como la oferta actual.

Tabla 4. Segmentación de la EPS017 por tipo de prestador.

Tipo de Prestador	Número de Instalaciones
IPS	76
Profesional Independiente	18

Tipo de Prestador	Número de Instalaciones
Total	94

Fuente: SISPRO,2021

Bogotá cuenta con una subdivisión por localidades y estas a su vez se subdividen en Unidades de Planeamiento Zonal (UPZ), se encontró como un mejor manejo de la información el seccionar la densidad poblacional (Figura 13) por UPZ y así poder manejar una caracterización de la demanda más precisa.

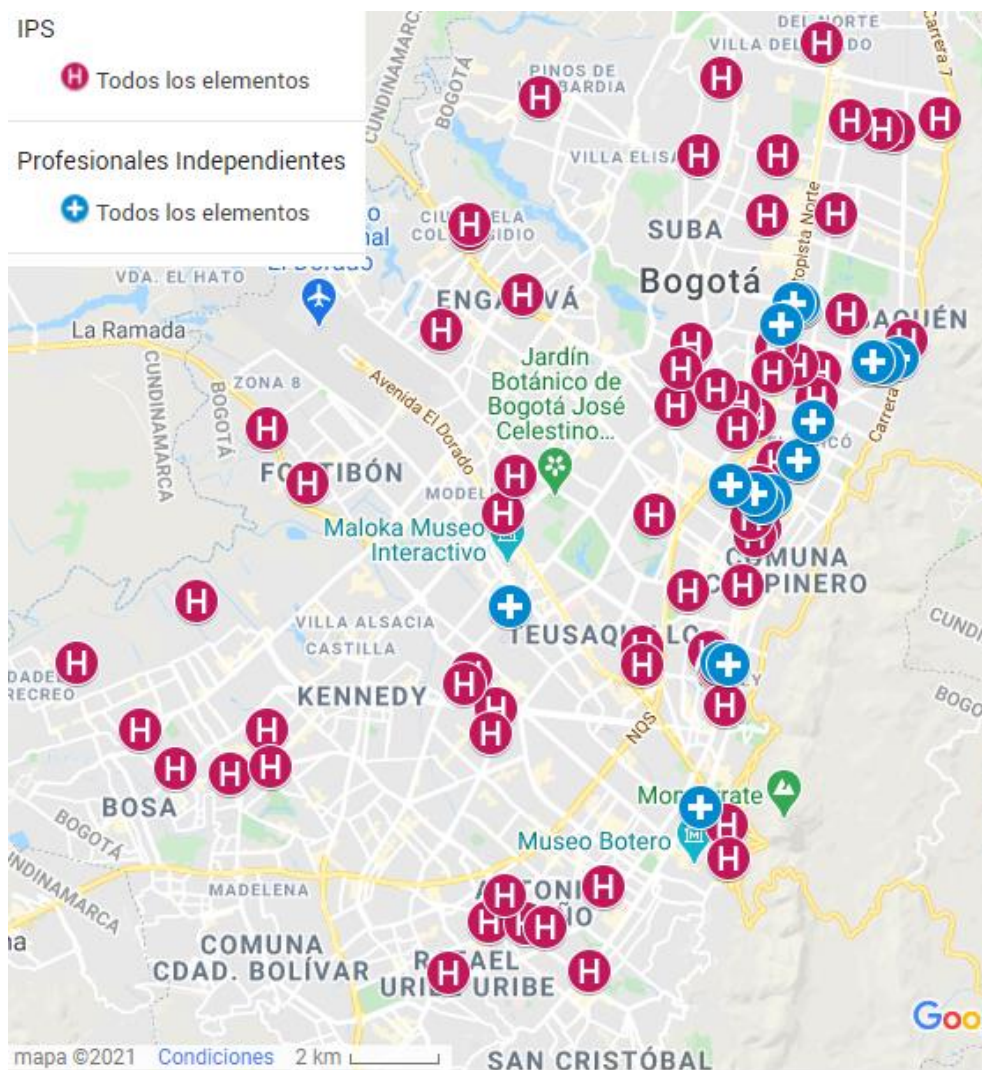


Figura 12. Localización actual de la oferta de servicios de la EPS017 (Autoría Propia, 2021).

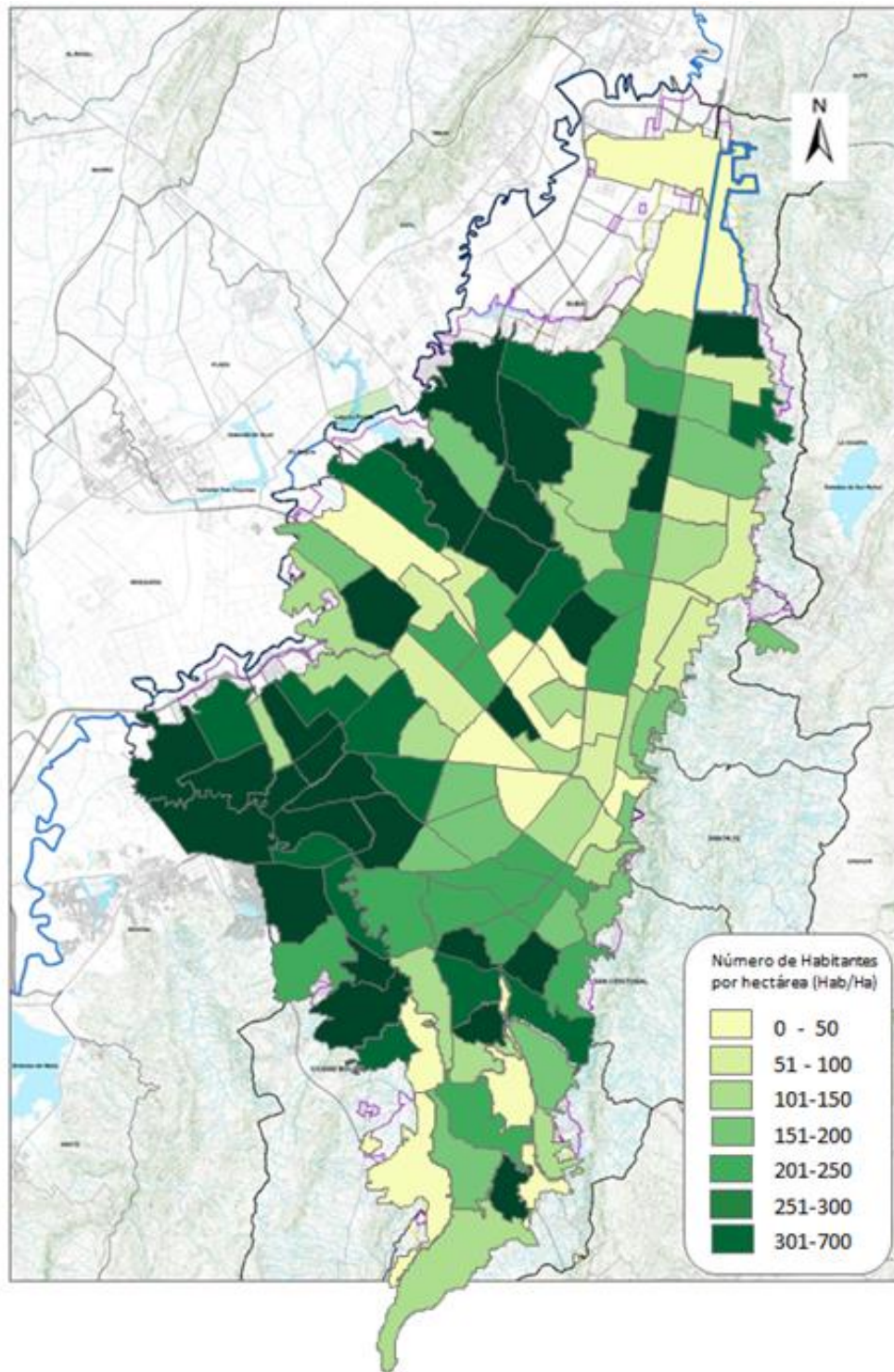


Figura 13. Densidad de personas por hectárea, según UPZ. (Secretaria Distrital de Planeación, 2018).

Debido a que SISPRO no menciona el origen de la demanda, se realizó una estimación basada en los datos de la Secretaría de Planeación (anexo 4); por localidad (Tabla 5), y más a detalle por UPZ (anexo 5), ya que estos datos son fundamentales para poder realizar esta investigación.

Tabla 5. Estimación de demanda de pacientes con obesidad infantil por localidad.

Localidad	0-4 años	5-19 años
01. Usaquén	27	319
02. Chapinero	6	72
03. Santa Fe	4	66
04. San Cristóbal	29	346
05. Usme	26	353
06. Tunjuelito	12	149
07. Bosa	65	759
08. Kennedy	89	1.067
09. Fontibón	26	338
10. Engativá	55	660
11. Suba	90	1.114
12. Barrios Unidos	13	161
13. Teusaquillo	7	80
14. Los Mártires	5	62
15. Antonio Nariño	7	84
16. Puente Aranda	10	139
17. La Candelaria	1	14
18. Rafael Uribe U	24	291
19. Ciudad Bolívar	67	766
Total	563	6.840

5. MODELO MATEMÁTICO

Para dar solución al problema planteado se propone la formulación de un modelo de localización de instalaciones capacitadas en salud con cobertura máxima específico para el TCC. En esta sección se explican sus componentes, así como su formulación matemática.

5.1 Asignación de pacientes a CDP

Como ya se ha mencionado antes, la cobertura en un problema de optimización busca atender a la mayor cantidad de demanda de las UPZ (anexo 4), dentro de un radio de cobertura. Para este trabajo se pretende asignar a la mayor población de pacientes diagnosticados con obesidad infantil a un CDP, que se encuentre dentro del radio de cobertura.

5.2 Instalaciones disponibles

La EPS017 cuenta con 94 instalaciones (figura 12), en las que se han prestado servicios para pacientes con obesidad infantil. Con esta restricción las IPS pasan a convertirse en CDP, además de que se realizará un análisis de sensibilidad variando el posible número de instalaciones a habilitar para así poder tener soluciones detalladas y demostrar una optimización en cuanto el costo de habilitar una instalación y el número de estas.

En el caso de los pacientes con rango de edad 0-4 años se considerará tanto las IPS como a los profesionales independientes (94 instalaciones), debido a que solo se requiere una consulta mensual y de un pediatra para el control del tratamiento. Con los pacientes del rango 5-19 años se van a considerar únicamente las IPS (76 instalaciones), ya que se requiere de 4 especialistas y por consiguiente 4 consultorios para proporcionar consultas semanales.

Los análisis a realizar contemplan el estudio de la relación entre la capacidad instalada y la cobertura de la red. Para ello, se utilizarán distintos porcentajes de la capacidad actual instalada de la EPS.

5.3 Medición de Distancias

La distancia debe ser tomada en cuenta en este modelo como una restricción en la selección de instalaciones. El objetivo de esta restricción es lograr que el acceso a los servicios de salud sea lo más equitativo posible para todos los pacientes diagnosticados con obesidad infantil, siendo uno de los objetivos principales para la planificación a los servicios de salud.

Para la distancia de viaje se tomarán las distancias umbral que ya se han realizado en otros estudios (Nguí & Aparicio, 2011), de 0.5 kilómetros (km), 1 km, 2 km y 3 km, con el fin de poder evaluar varios escenarios e interpretar las diferentes soluciones que se obtengan de la optimización.

Las distancias de viaje (ANEXO 6) desde las UPZ hasta las IPS se calcularon con latitudes y longitudes aplicadas a la fórmula de Haversine (ecuación 13), la cual nos permite conocer este tipo de datos como se muestra en la Figura 14 (Baskar & Xavior, 2021). Las latitudes y longitudes de los baricentros de las UPZ se obtuvieron de la Secretaria Digital de la Planeación (Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital, 2019), y las longitudes y latitudes de las IPS se obtuvieron con la consulta del módulo REPS y la ubicación en *Google Maps* (Google, n.d.)

$$GDC = RT(R) \times AEI \quad (13)$$

Donde:

GDC Gran Distancia Circular (Figura 14)

RT Radio de la Tierra

AEI Ángulo Esférico Interno, θ en radianes

El ángulo esférico interno, θ entre dos puntos, se estima utilizando la relación:

$$\theta = 2\sin^{-1}\sqrt{(\sin^2\Delta L + \cos L_1 * \cos L_2 * \sin^2\Delta G)} \quad (14)$$

Donde:

ΔL Media de las latitudes de dos puntos = $(L_1 + L_2)/2$ (15)

L_1 Latitud del primer punto, en radianes

L_2 Latitud del segundo punto, en radianes

ΔG Media de las longitudes de dos puntos = $(G_1 + G_2)/2$ (16)

G_1 Longitud del primer punto, en radianes

G_2 Longitud del segundo punto, en radianes

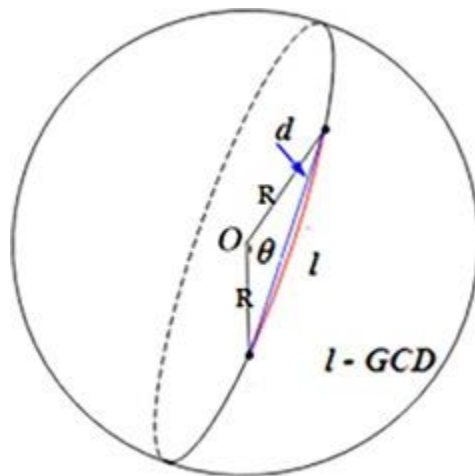


Figura 14. Gran Distancia Circular. (Baskar & Xavier, 2021).

5.4 Cálculo de las capacidades máximas por CDP

Para el modelo matemático se considera la capacidad de atención de los CDP basado en la jornada laboral del personal médico y que no debe de sobrepasar las 66 horas semanales conforme a la ley 269 de 1996 de Colombia (Concepto 115871, 2019).

Conforme a la resolución del Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (Resolución Número 3280, 2018), se recomienda que la frecuencia con la que los niños de 0-4 años asistan al tratamiento es de una vez al mes. Dado que solo deben presentarse a consultas con un pediatra, la capacidad para este grupo de población será mensual. Para los niños y jóvenes de 5-19 años se encuentra que deben asistir a consulta una vez al mes. Sin embargo, al tener que visitar a tres diferentes especialistas (pediatra, psicólogo, nutriólogo), deberán asistir una vez a la semana al CDP de manera alternada para seguir su tratamiento. En consecuencia, la capacidad de este grupo de población será semanal.

Para los niños y jóvenes de 5-19, el TCC indica que cada vez que asistan al CDP deben realizar activación física. Este elemento de la terapia se puede hacer de manera grupal, por lo que la capacidad en este rango de edad se enfocará en la consulta individual que se puede dar de manera simultánea.

A continuación, se presentan las formulaciones para el cálculo de la capacidad máxima de atención en cada CDP según el grupo poblacional.

Capacidad máxima por cada CDP (0-4 años)

$$CMAX_m = \frac{HLSM \times SA \times NE}{TC \times MA} \quad (17)$$

Donde:

$CMAX_m$ Capacidad máxima mensual por cada CDP

$HLSM$ Horas Laborales Semanales Máxima

SA Número de semanas por año

NE Número de especialistas que se requieren por cada CDP

TC Tiempo de consulta (horas)

MA Número de meses al año

$$CMAX_m = \frac{66 \times 52 \times 1}{0,75 \times 12} = 381 \text{ pacientes}$$

Capacidad máxima por cada CDP (5-19 años)

$$CMAX_s = \frac{HSLM \times NE}{TC} \quad (18)$$

Donde:

$CMAX_s$ Capacidad máxima semanal por cada CDP

$HSLM$ Horas Laborales Semanales Máxima

NE Número de especialistas que se requieren por cada CDP

TC Tiempo de consulta (horas)

$$CMAX_m = \frac{66 \times 3}{0,75} = 264 \text{ pacientes}$$

5.5 Cálculo de la demanda mínima por cada CDP

Para esta investigación, dado que en Colombia no existe un documento oficial donde se estipule un salario mínimo profesional, se hará una estimación en el salario promedio mensual que percibe el personal médico el cual será de \$6.000.000,00 al mes.

En el caso del costo de consulta, se utilizará el máximo razonable de los costos reportados por la EPS017 (Tabla 6), el cual será de \$40.000,00. Este dato es un valor que es reportado por los prestadores a SISPRO, esta variable corresponde al valor que el prestador cobrará al pagador por esa consulta.

Tabla 6. Costo de consulta de la EPS017.

Costo de consulta	Frecuencia
\$7,500.00	2117
\$13,570.00	1237
\$14,008.00	780
\$21,070.00	764
\$23,873.00	729
\$14,303.00	597
\$40,000.00	401
\$10,338.00	306

Fuente: SISPRO, 2021

En el caso de los CDP con atención a pacientes con el rango de edad 0-4 años solo se requiere de un pediatra, por lo que se calculará una demanda mínima mensual. Los CDP con atención a pacientes de 5-19 años requiere contar por lo menos con 4 especialistas (pediatra, nutriólogo, psicólogo y activador físico), y considerando que el cálculo de capacidad se hizo para un periodo semanal, la demanda mínima se estimara para una atención semanal.

Para el cálculo de la demanda por tratamiento se considerarán la estimación del salario mensual del personal médico y el costo de consulta promedio, con el fin de tener un supuesto de cuantos pacientes deberían ser atendidos para solventar el pago a los especialistas.

Dado que se consideran dos tratamientos diferentes y dos demandas distintas, al cálculo de la demanda mínima será de la siguiente manera:

Demanda Mínima por cada CDP (0-4 años)

$$DMIN_m = \frac{SM}{CC} \quad (19)$$

Donde:

$DMIN_m$ Demanda mínima mensual

SM Salario mensual del especialista

CC Costo de la consulta por paciente

$$DMIN_m = \frac{6.000.000}{40.000} = 150 \text{ pacientes}$$

Demanda Mínima por cada CDP (5-19 años)

$$DMIN_s = \frac{SM \times NE \times MA}{CC \times SA} \quad (20)$$

Donde:

$DMIN_s$ Demanda mínima semanal

SM Salario mensual del especialista

NE Número de especialistas necesarios para el TCC

MA Meses del año

CC Costo de la consulta por paciente

SA Semanas del año

$$DMIN_s = \frac{6.000.000 \times 4 \times 12}{40.000 \times 52} = 138,46 = 139 \text{ pacientes}$$

5.6 Funciones Objetivo

5.6.1 Maximización de Cobertura

El objetivo es lograr una cobertura máxima para pacientes con diagnóstico de obesidad infantil en la ciudad de Bogotá, esta función será sometida a un análisis de sensibilidad para poder tener distintos resultados y poder observar cuál o cuáles serían las mejores alternativas para la EPS017.

5.6.2 Minimización del Costo de Instalación

Esta función tiene el objetivo de reducir el costo por apertura de cada CDP (

Tabla 7). Tomando en cuenta los cálculos previos de demanda mínima se optó por tomar como costo de CDP habilitado el salario de los especialistas y considerando el tratamiento a implementar.

Tabla 7. Estimado de costo de apertura de CDP.

Rango Edad Pacientes	Costo CDP Habilitado
0-4 años	\$6.000.000,00 Mensual
5-19 años	\$5.600.000,00 Semanal

5.7 Modelamiento matemático del problema

En esta sección se propone el modelamiento matemático propuesto para el problema de diseño de una red de atención para el TCC. El modelo propuesto se desarrolla bajo en enfoque de Programación Entera Mixta y tiene los siguientes componentes:

Conjuntos:

I Ubicación de los pacientes por UPZ.

J La oferta actual de las IPS.

Parámetros

h_i La demanda de pacientes en cada UPZ $i \in I$

D_{ij} La distancia de viaje desde cada UPZ $i \in I$ a los CDP $j \in J$.

- b_j La capacidad máxima de atención de los CDP $j \in J$.
- p El número máximo de CDP que se habilitarán para la atención de pacientes.
- w_j Demanda mínima para habilitar un CDP $j \in J$.
- f_j Costo de habilitar un CDP $j \in J$.

Variables de Decisión

- x_j 1, si se habilita el servicio de un CDP candidato $j \in J$; 0, en caso contrario.
- y_{ij} 1, si los pacientes de una UPZ $i \in I$ se asignan a un CDP candidato $j \in J$; 0, en caso contrario.

Restricciones

- Asignación* Demanda de cada UPZ $i \in I$ sea asignada a un solo CDP $j \in J$.
- Instalaciones* La apertura de instalaciones $j \in J$ será igual o menor al máximo propuesto p .
- Distancia* La distancia de viaje D_{ij} no debe ser superada de los límites establecidos.
- Capacidad* La demanda h_i nunca debe ser superior a la capacidad b_j de los CDP $j \in J$.
- Demanda* Tiene que existir un mínimo de demanda w_j para que se pueda habilitar un CDP

Funciones Objetivo

- Cobertura* Maximizar la cobertura de los pacientes que habitan en las UPZ $i \in I$, con una óptima ubicación de los CDP $j \in J$.
- Costo instalación* Minimizar el costo de instalación f_j habilitando solo los CDP $j \in J$ necesarios.

El modelo matemático propuesto contempla dos funciones objetivo y seis conjuntos de restricciones de acuerdo con la descripción anterior. En el desarrollo de este proyecto, se aplicó el

criterio de maximización de coberturas, mientras que el cálculo de distancias no fue objeto de optimización.

Maximizar:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} a_{ij} h_i y_{ij} \quad (21)$$

Minimizar:

$$\sum_{j \in J} f_j x_j \quad (22)$$

Sujeto a:

$$\sum_{j \in J} y_{ij} = 1 \quad \forall i \in I \quad (23)$$

$$\sum_{i \in I} a_{ij} h_i y_{ij} \leq b_j x_j \quad \forall j \in J \quad (24)$$

$$\sum_{i \in I} a_{ij} h_i y_{ij} \geq w_j x_j \quad \forall j \in J \quad (25)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \leq p \quad (26)$$

$$\sum_{j \in J} x_j \geq 1 \quad (27)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} y_{ij} \leq x_j \quad \forall i \in I, j \in J \quad (28)$$

$$x_j \in \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (29)$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, j \in J \quad (30)$$

La restricción (23) asegura que la demanda de cada UPZ $i \in I$ sea asignado a un solo CDP $j \in J$. La restricción (24) asegura que la capacidad b_j de los CDP $j \in J$ abiertos no sea sobrepasada. La restricción (25) garantiza que para habilitar un CDP $j \in J$, se cubra el mínimo de demanda w_j . La restricción (26) permite seleccionar a lo más p número de CDP, al mismo tiempo la restricción (27) sirve para que el modelo considere al menos la apertura de un CDP. La restricción (28) muestra que la demanda de las UPZ $i \in I$ solo estén cubiertos por CDP $j \in J$ abiertos. Finalmente, las restricciones (29) y (30) son de integridad de las variables de decisión.

6. SOLUCIÓN AL PROBLEMA

El método utilizado para solucionar el problema consistió en la ejecución de la optimización del modelo propuesto bajo el objetivo de maximización de cobertura. Una vez se obtuvo una solución para cada escenario, se analizaron los costos correspondientes de la misma y se establecieron análisis y conclusiones respectivos. Es importante aclarar que se realizó un análisis para múltiples objetivos (cobertura y costo) a partir de la optimización mono objetivo de la cobertura.

Considerando los parámetros previamente establecidos, en las condiciones actuales se tienen los siguientes datos (Tabla 8):

Tabla 8. Condiciones actuales de la EPS017.

Criterio	Pacientes (0-4 años)	Pacientes (5-19 años)
Porcentaje de cobertura de pacientes	100%	100%
IPS utilizadas	94	94
Estimación de especialistas necesarios	94	376
Estimación de costo de instalación habilitada total	\$564.000.000,00 mensual	\$526.400.000,00 semanal
Distancia de viaje máxima considerable	10,9 km	10,9 km
Porcentaje promedio de pacientes con obesidad atendidos por IPS	4,62%	37,62%
Estimación de costo total para atención a pacientes con obesidad	\$25.944.000,00 mensual	\$198.031.680,00 semanal

Para la realización de los escenarios se considerarán 94 instalaciones para el tratamiento de 0-4 años, ya que esta cifra contempla a los especialistas independientes; en el caso del tratamiento de 5-19 años se considerarán 76 instalaciones, ya que se supone que las IPS cuentan con las condiciones para poder llevar a cabo el tratamiento a los pacientes.

Los escenarios que se evaluarán en el modelo están descritos en la Tabla 9, posteriormente se realizará un análisis detallado de cada escenario. Como aclaración, se adicionaron más radios de cobertura, teniendo como radio máximo 11 km, ya que a esta distancia es superior a la máxima razonable y alcanza una cobertura total.

Tabla 9. Parámetros de escenarios para ejecutar el modelo

Pacientes	Parámetros					
	Porcentaje de instalaciones disponibles (p)	Capacidad Máxima de pacientes por CDP (b)	Demanda mínima de pacientes por CDP (w)	Radio de cobertura (km)	Demanda de pacientes (h)	Costo apertura de CDP (f)
0-4 años	10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 100%	381 mensuales	150 mensuales	5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	563 mensuales	\$6.000.000,00 mensuales
5-19 años		264 semanales	139 semanales	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11	6.840 semanales	\$5.600.000,00 semanales

6.1 Solución Localización red de CDP para el tratamiento a pacientes de 0-4 años

En la Figura 15 se aprecia cómo se comporta el modelo al ejecutarse con diferentes radios de cobertura, el porcentaje de demanda que se alcanza a cubrir y porcentaje de capacidad instalada con la que se logra esta cobertura (Tabla 10). A manera de ejemplo, con una distancia de cobertura de 5 km, el uso de un 10% de la capacidad de la red permite cubrir un 33% aproximadamente de la demanda existente.

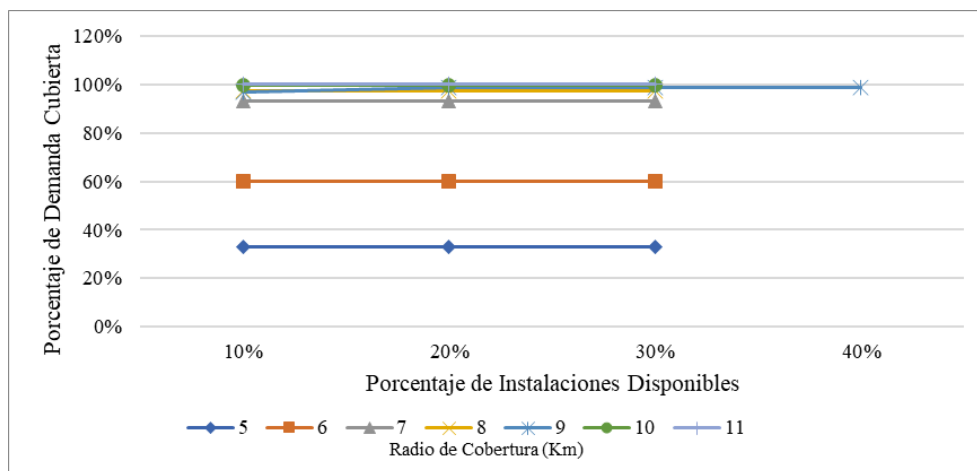


Figura 15. Cobertura para pacientes de 0-4 años versus instalaciones disponibles para varios radios de cobertura.

Tabla 10. Porcentaje de cobertura alcanzada para pacientes de 0-4 años dependiendo de la distancia de cobertura y las instalaciones disponibles.

Radio en km	Porcentaje de instalaciones disponibles		
	10%	20%	30%
5	33.04%	33.04%	33.04%
6	60.04%	60.04%	60.04%
7	93.07%	93.07%	93.07%
8	97.34%	97.34%	97.34%
9	96.80%	98.76%	98.76%
10	99.82%	99.82%	99.82%
11	100.00%	100.00%	100.00%

Al mismo tiempo se realiza un análisis de los costos de instalación mensual de los diferentes escenarios a los que fue sometido el modelo (Figura 16), se observa que los costos varían dependiendo de la cantidad de pacientes que tienen acceso a las instalaciones con los diferentes radios de cobertura.

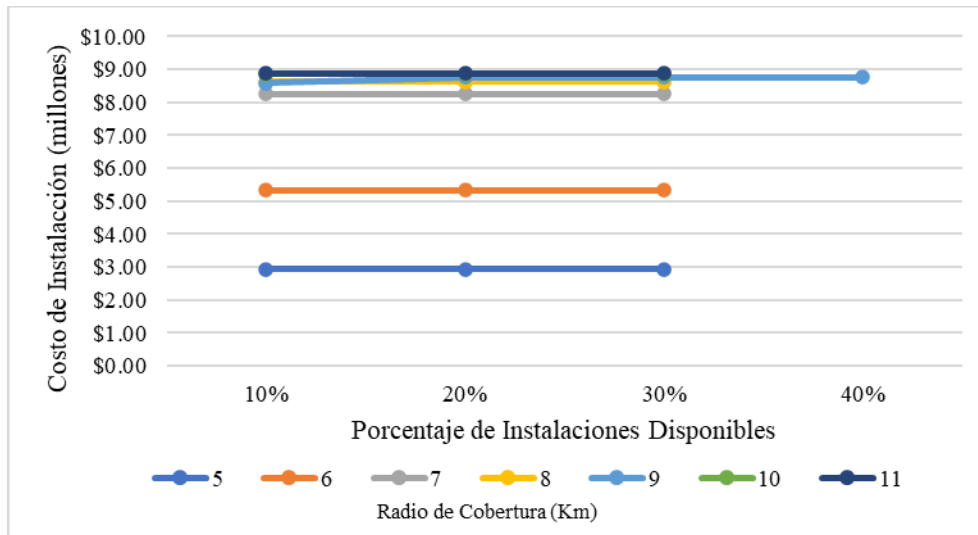


Figura 16. Costo de instalación de CDP para pacientes de 0-4 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura.

Aunque tanto como la Figura 15 como la Figura 16 no muestran una variación en los resultados por radio de cobertura, se obtienen datos con los que se puede realizar un análisis de comparación con el estado actual de la EPS017.

6.2 Solución Localización red de CDP para el tratamiento a pacientes de 5-19 años

En la Figura 17 se observa la cobertura que se le puede dar a los pacientes de 5 a 19 años modificando los radios de cobertura. Habilitando más estaciones se puede tener una mayor cobertura de la demanda (Tabla 11). Sin embargo, se demuestra que bajo las condiciones preestablecidas no se logra el total de porcentaje de demanda, a razón de que existen regiones que tienen una demanda mayor de pacientes semanales a la que se estableció en los parámetros de la Tabla 9.

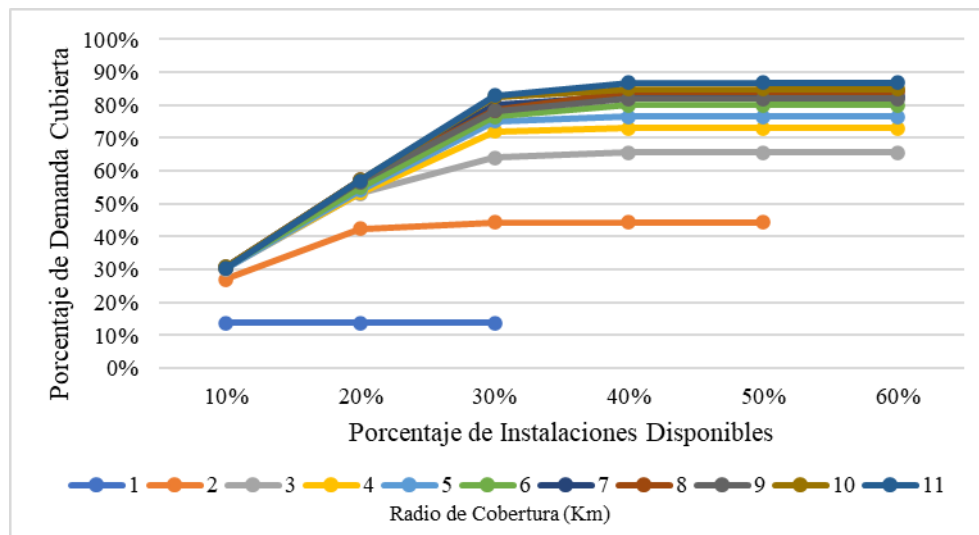


Figura 17. Cobertura para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura

Tabla 11. Porcentaje de cobertura alcanzada para pacientes de 5-19 años dependiendo de la distancia de cobertura y la capacidad instalada.

Radio en km	Porcentaje de instalaciones disponibles					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
1	13.68%	13.68%	13.68%			
2	27.08%	42.44%	44.40%	44.40%	44.40%	
3	30.20%	53.06%	64.02%	65.64%	65.64%	65.64%
4	30.53%	53.27%	72.03%	72.98%	72.98%	72.98%
5	30.37%	54.12%	75.09%	76.55%	76.55%	76.55%
6	30.73%	54.80%	76.55%	80.07%	80.07%	80.07%
7	30.48%	57.27%	80.06%	82.65%	82.65%	82.65%

Radio en km	Porcentaje de instalaciones disponibles					
	10%	20%	30%	40%	50%	60%
8	30.79%	57.16%	78.48%	84.11%	84.11%	84.11%
9	30.80%	56.55%	78.26%	81.90%	81.90%	81.90%
10	30.63%	57.11%	82.46%	84.77%	84.77%	84.77%
11	30.38%	57.02%	82.82%	86.77%	86.77%	86.77%

También se realizó un análisis del costo de instalación semanal con el fin de tener una percepción de cuanto tendría que invertir la EPS para la habilitación de los centros propuestos por el modelo (Figura 18), se observa que el aumento de costos es directamente proporcional al número de instalaciones que se habilitan por radio de cobertura.

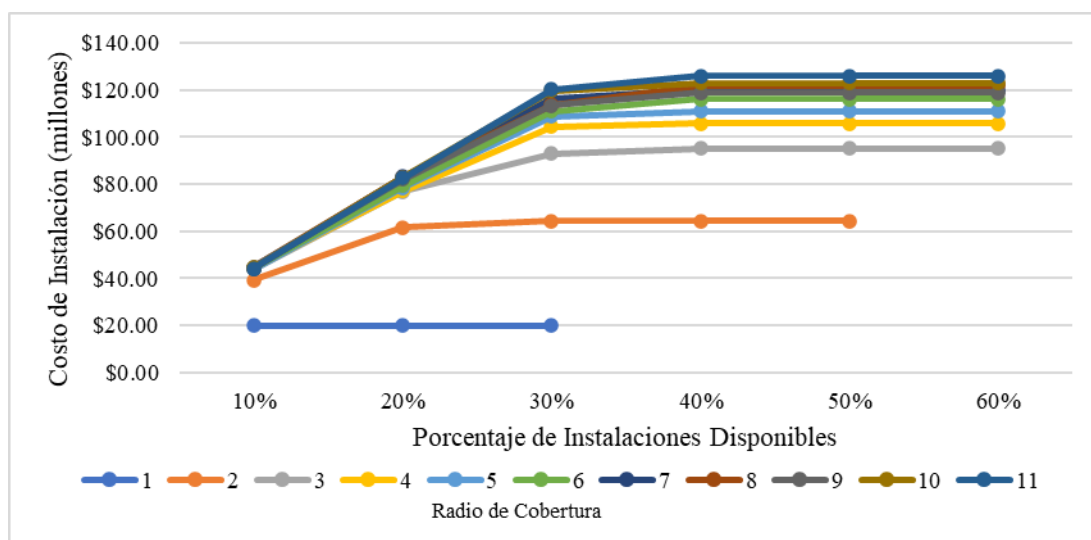


Figura 18. Costo de instalación de CDP para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura.

6.3 Solución Localización red de CDP para el tratamiento a pacientes de 5-19 años con aumento al doble en la capacidad de atención

Para este escenario se modificó el parámetro de capacidad máxima (b), incrementándola hasta una atención máxima de 528 pacientes semanales. Este cambio se implementó para que el modelo tomara en cuenta las regiones que tienen una demanda mayor a la capacidad anterior. La Figura 19 tiene un comportamiento muy similar al ejercicio anterior, pero con la diferencia de que en esta ocasión se alcanza a superar la barrera del 90% de demanda (Tabla 12).

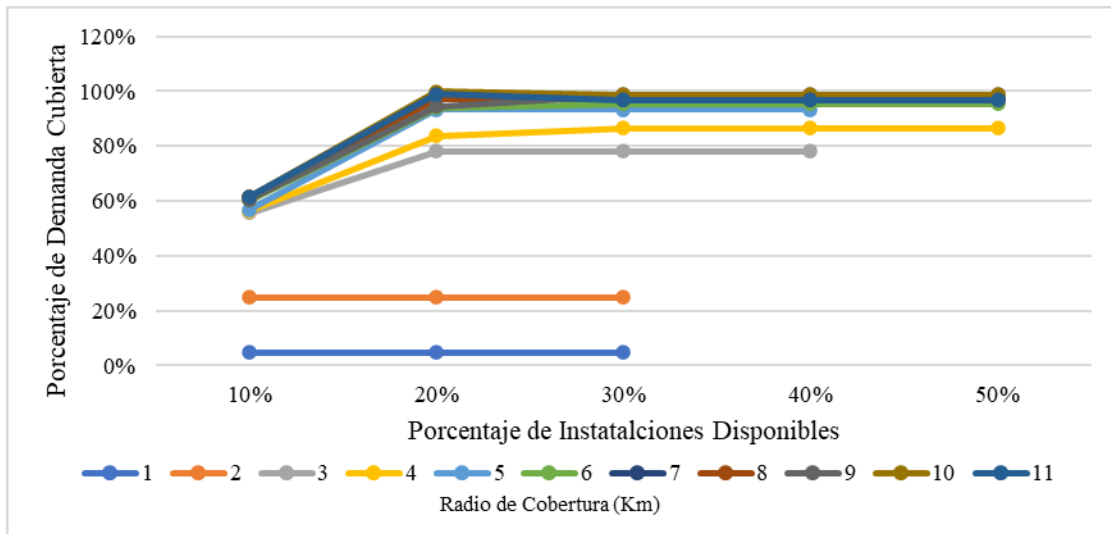


Figura 19. Cobertura para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura con el aumento en la capacidad de atención.

Tabla 12. Porcentaje de cobertura alcanzada para pacientes de 5-19 años dependiendo de la capacidad de atención aumentada, la distancia de cobertura y la capacidad instalada.

Radio en km	Porcentaje de instalaciones disponibles				
	10%	20%	30%	40%	50%
1	4.72%	4.72%	4.72%		
2	24.93%	24.93%	24.93%		
3	55.61%	78.06%	78.06%	78.06%	
4	56.46%	83.77%	86.64%	86.64%	86.64%
5	56.84%	93.27%	93.27%	93.27%	
6	60.47%	94.14%	95.41%	95.41%	95.41%
7	61.26%	97.08%	97.02%	97.02%	97.02%
8	61.43%	97.34%	97.32%	97.32%	97.32%
9	60.54%	94.39%	98.58%	98.58%	98.58%
10	61.49%	99.78%	98.70%	98.70%	98.70%
11	61.48%	99.04%	96.75%	96.75%	96.75%

Para este escenario se observa un aumento en los costos de instalación semanal (Figura 20), sin embargo, la cobertura de pacientes que se alcanza es mayor.

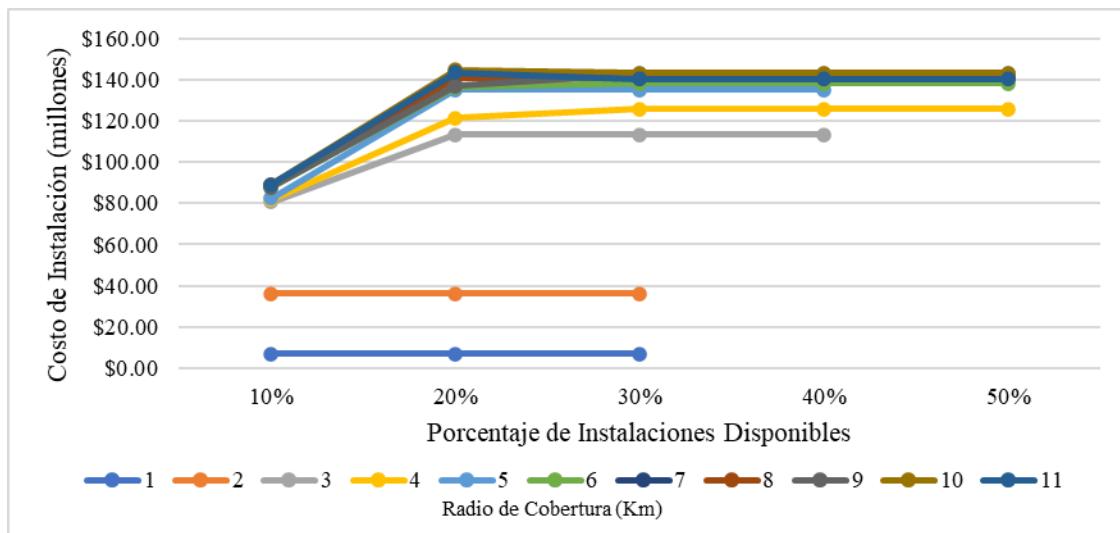


Figura 20. Costo de instalación de CDP para pacientes de 5-19 años versus capacidad de instalaciones para varios radios de cobertura con aumento en la capacidad de atención.

7. ANÁLISIS DE ESCENARIOS

Para el análisis de escenarios solo se consideraron las soluciones que tienen un porcentaje de demanda cubierta superior al 80%, realizando un contraste contra el escenario inicial y así demostrar en niveles más específicos los logros alcanzados con el modelo propuesto.

7.1 Análisis de solución de localización de CDP para pacientes de 0-4 años

Como se aprecia en la Tabla 10, se alcanza un máximo de cobertura (Figura 21) con el 10% de capacidad instalada.

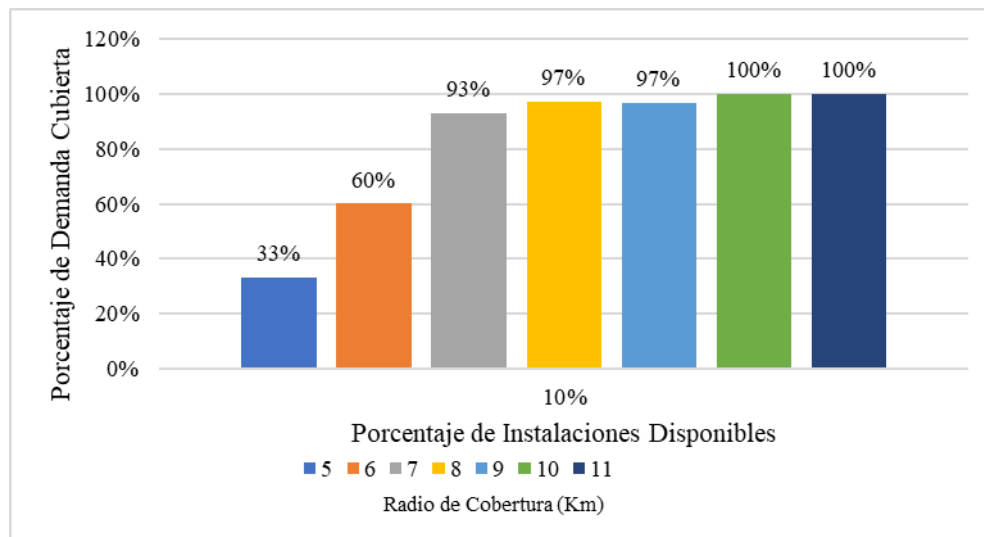


Figura 21. Curva de compensación de cobertura de demanda para pacientes de 0-4 años versus capacidad instalada. Considerando que el objetivo del modelo es tener la mayor cobertura de pacientes y tener un costo mínimo en la apertura de instalaciones, se hace el análisis de resultados con el radio de 7 km y 8 km (Figura 22), ya que estos dos radios son los primeros que presentan alto porcentaje de cobertura de demanda (Tabla 13). También se realizó el análisis de los CDP habilitados que brindan servicio dentro de estos radios de cobertura (Tabla 14).

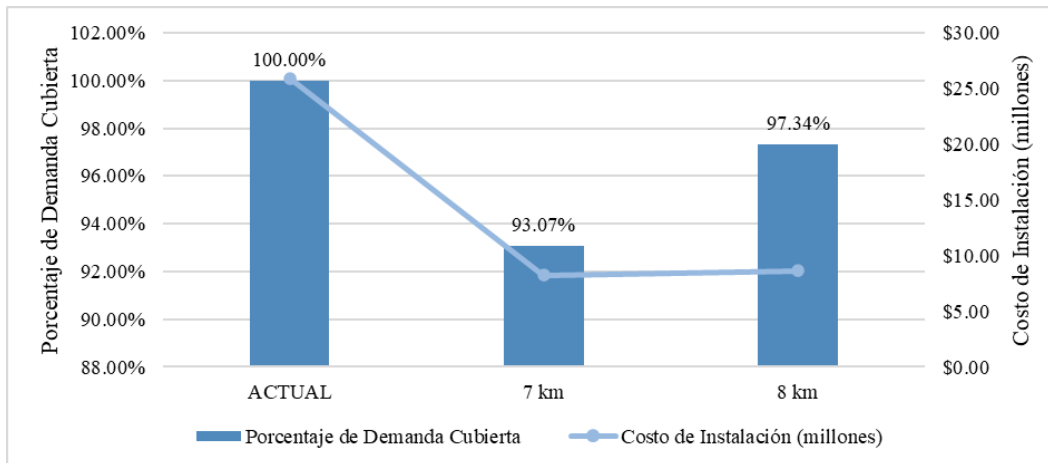


Figura 22. Porcentaje de demanda de pacientes de 0-4 años versus costo de instalación.

Tabla 13. Análisis de estado actual de la red de IPS para pacientes de 0-4 años versus resultado del modelo.

Criterio	Estado actual (Radio 11 km)	Radio 7 km	Radio 8 km
Cobertura de pacientes	100%	93,07%	97,34%
Instalaciones habilitadas	94	3	3
Estimación de especialistas requeridos	94	3	3
Costo instalación habilitada Total	\$564.000.000,00 mensual	\$18.000.000,00 mensual	\$18.000.000,00 mensual
Porcentaje promedio de atención a pacientes con obesidad por IPS	4,62%	45,84%	47,94%
Estimación de costo total para atención a pacientes con obesidad	\$25.944.000,00 mensual	\$8.251.200,00 semanal	\$8.629.200,00 semanal

Tabla 14. Asignación de CDP para pacientes de 0-4 años.

Radio Cobertura km	Código de asignado CDP	Demanda atendida mensual
7	110010817136	183
	110010817144	168

Radio Cobertura km	Código de asignado CDP	Demanda atendida mensual
7	110011612903	173
	Total	524
8	110010817144	192
	110012151501	174
	110012151503	182
	Total	548

Se observa que el número de especialistas e instalaciones tienen una reducción considerable, esto se debe a que en el estado actual hay IPS que brindan atención desde un paciente, lo que se ve reflejado en un bajo porcentaje de atención a pacientes con obesidad. Al establecer una demanda mínima en el modelo para que este habilite un CDP, se hace una asignación a los centros que cumplen con todas las restricciones, y al mismo tiempo se busca reducir costos de instalación concentrándolos en tan solo tres instalaciones Figura 23 y Figura 24.

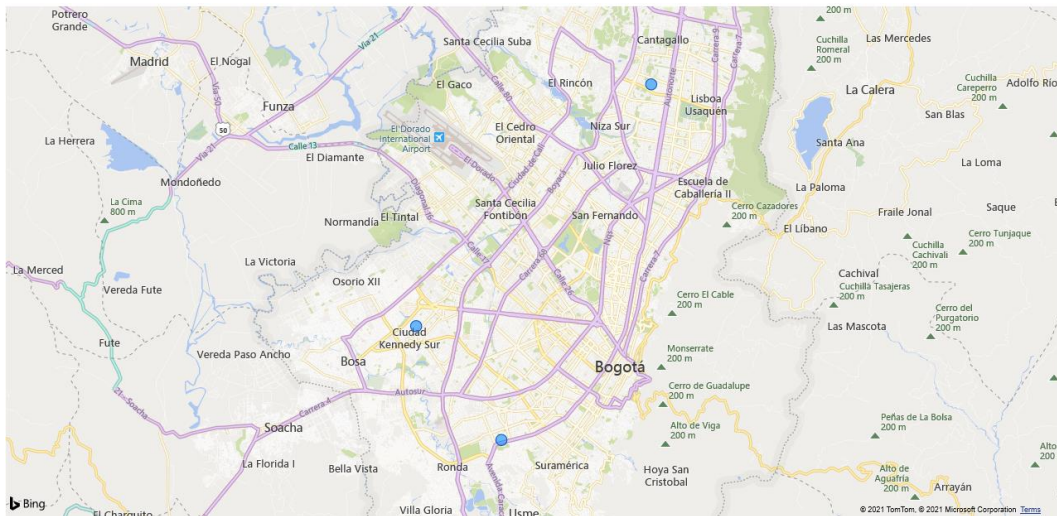


Figura 23. Ubicación de los CDP con radio de 7 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 0-4 años.

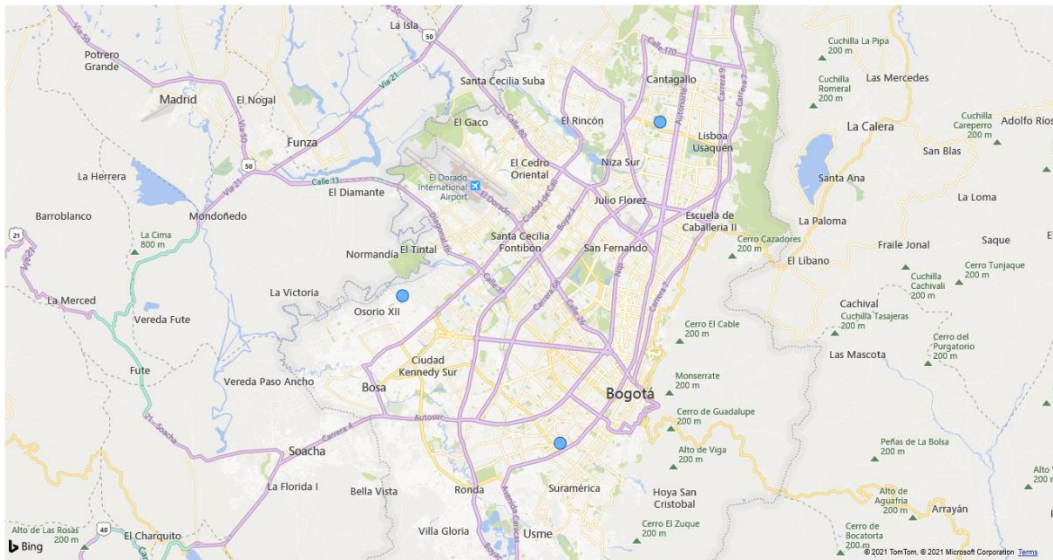


Figura 24. Ubicación de los CDP con radio de 8 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 0-4 años.

7.2 Análisis de solución de localización de CDP para pacientes de 5-19 años

En la Tabla 11, se aprecia que con los diferentes radios de cobertura se alcanza una cobertura óptima (Figura 25) la capacidad mínima con la que la mayoría cumple con esta restricción es del 40%.

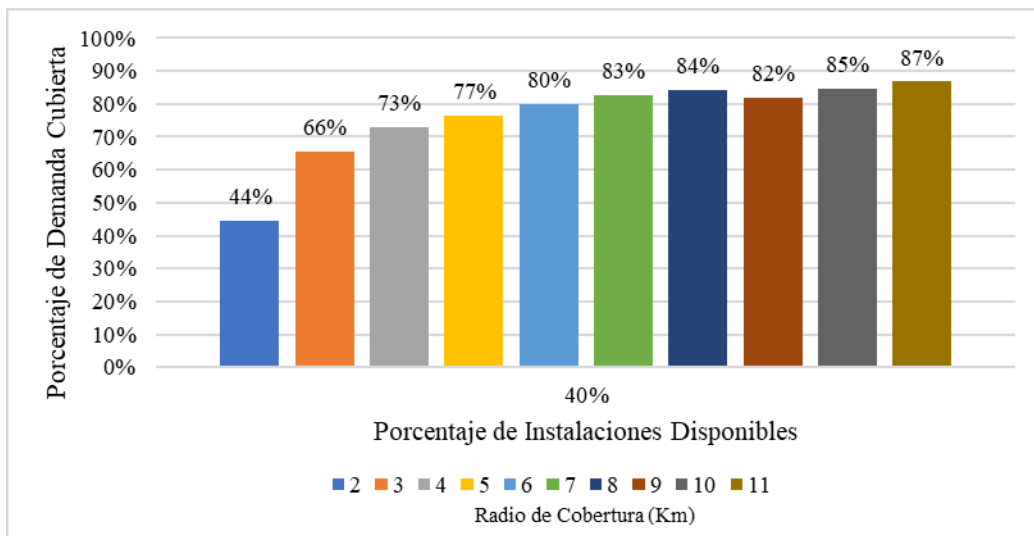


Figura 25. Curva de compensación de cobertura de demanda para pacientes de 5-19 años versus capacidad instalada.

Dado que el objetivo del modelo es tener la mayor cobertura de pacientes y que paguen un costo mínimo para trasladarse a los CDP, además, habilitar instalaciones al menor costo posible, se

decidió analizar los resultados con el radio de 6 km y 7 km, ya que estas dos distancias son las primeras que evidencian un alto porcentaje de cobertura de demanda (Figura 26). En la Tabla 15 se compara detalladamente el escenario actual, con los escenarios propuestos. También se realizó el análisis de los CDP habilitados que brindan servicio dentro de estos radios de cobertura (Tabla 16).

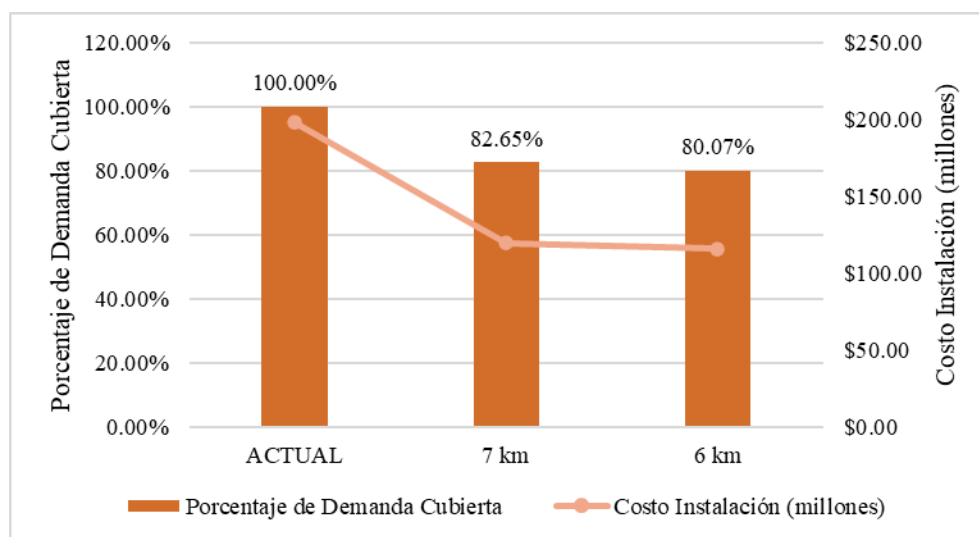


Figura 26. Porcentaje de demanda de pacientes de 5-19 versus costo de instalación.

Tabla 15. Análisis de estado actual de la red de IPS para pacientes de 5-19 años versus resultado del modelo.

Criterio	Estado actual (Radio 11 km)	Radio 6 km	Radio 7 km
Cobertura de pacientes	100%	80,07%	82,65%
Instalaciones habilitadas	76	25	26
Estimado de especialistas requeridos	304	100	104
Costo instalación habilitada Total	\$526.400.000,00 semanal	\$140.000.000,00 semanal	\$145.600.000,00 semanal
Porcentaje promedio de atención a pacientes con obesidad por IPS	37,62%	82.98%	82.36%
Estimación de costo total para atención a pacientes con obesidad	\$198.031.680,00 semanal	\$116.178.000,00 semanal	\$119.912.000,00 semanal

Tabla 16. Asignación de CDP para pacientes de 5-19 años.

Radio Cobertura km	Código de CDP asignado	Demanda atendida semanal	Radio Cobertura km	Código de CDP asignado	Demanda atendida semanal
6	110010559703	256	7	110010254001	201
	110010559705	241		110010444201	263
	110010559712	252		110010548004	162
	110010559713	248		110010559702	216
	110010566801	241		110010559703	234
	110010568101	225		110010559705	264
	110010719001	263		110010559713	262
	110010764602	257		110010566801	259
	110010817109	218		110010719001	255
	110010817117	234		110010817104	145
	110010817133	197		110010817106	236
	110010817136	140		110010817117	258
	110010817144	258		110010817118	150
	110010817150	215		110010817133	228
	110010825801	240		110010817134	254
	110011787001	153		110010817136	249
	110012042602	149		110010817144	257
	110012151503	248		110010817150	243
	110012347101	165		110011025101	165
	110012507001	190		110011947601	142
	110012742601	264		110011992003	139
	110013028901	244		110012151503	259
	110013029101	162		110012507001	157
	110013029601	244		110013028901	253
	110013205901	173		110013029601	263
	110010559703	256		110013205901	139
	110010559705	241		110010254001	201
	Total	5447			110010444201
			Total	5653	

En este escenario se observa que hay una reducción en el número de instalaciones habilitadas comparado con el escenario inicial, esta reducción es el resultado del parámetro de demanda mínima ya que obliga al modelo a concentrar un mínimo de pacientes para habilitar un CDP.

Adicionalmente la función objetivo de reducción de costos de habilitar una instalación genera que el modelo solo habilite el mínimo de instalaciones necesarias Figura 27 y Figura 28.

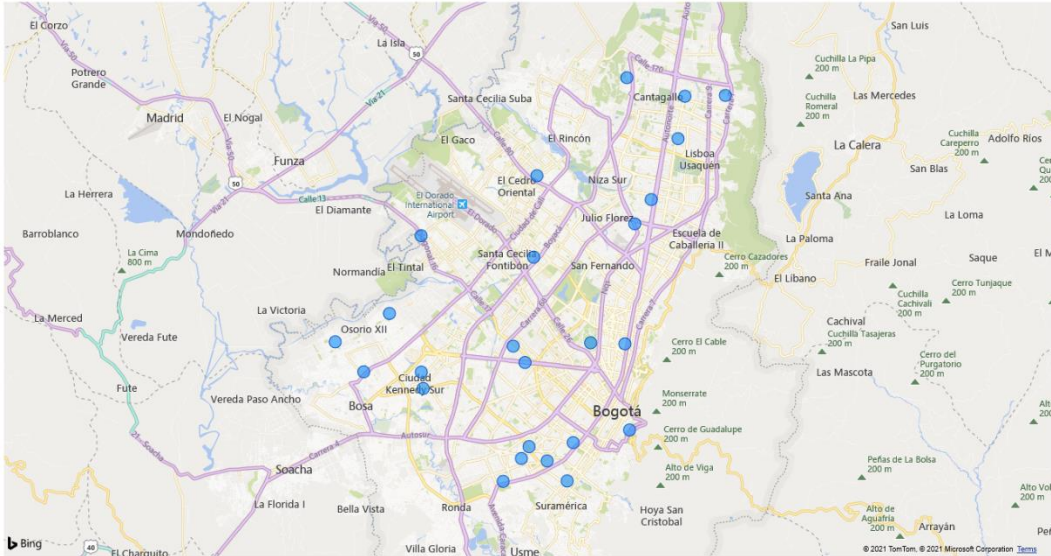


Figura 27. Ubicación de los CDP con radio de 6 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.

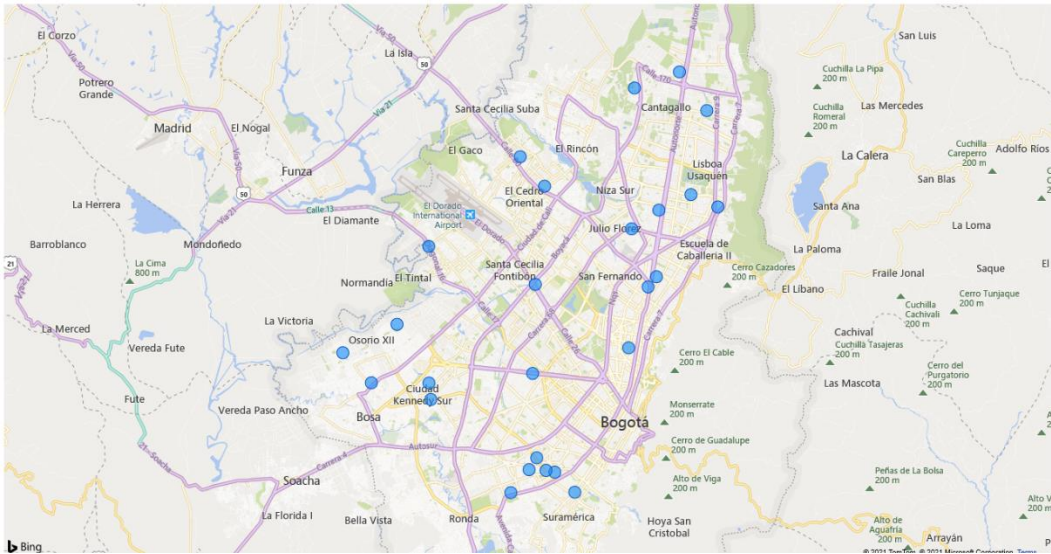


Figura 28. Ubicación de los CDP con radio de 7 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.

7.3 Análisis de solución de localización de CDP para pacientes de 5-19 años con aumento en capacidad de atención

Finalmente, en la Tabla 12 se distingue que hay un mayor porcentaje de cobertura debido al aumento de la capacidad de atención a pacientes, con el 20% de la capacidad instalada es posible tener una cobertura óptima (Figura 29).

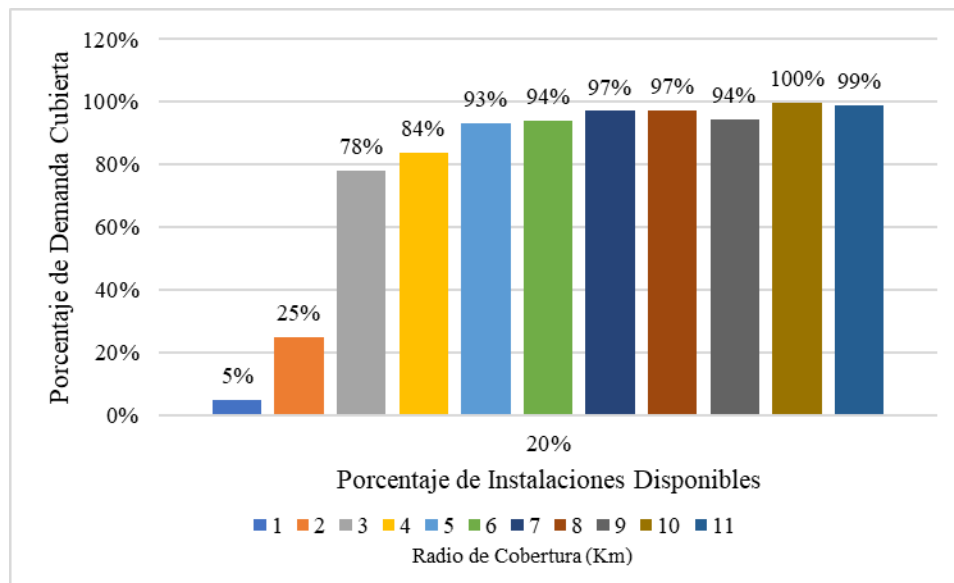


Figura 29. Curva de compensación de cobertura de demanda con aumento de capacidad de atención para pacientes de 5-19 años versus capacidad instalada.

Para este análisis se tomó en consideración el radio de 5 km y 6 km, porque con estas distancias se logra una óptima cobertura (Figura 30). Debido a que se realizó un aumento al doble la capacidad de atención a los pacientes, se tuvo que realizar un ajuste en la demanda mínima (278 pacientes semanales) y el costo de instalación (\$11.200.000,00 semanales). Adicionalmente se presenta el análisis de CDP asignados con los radios antes propuestos (Tabla 17).

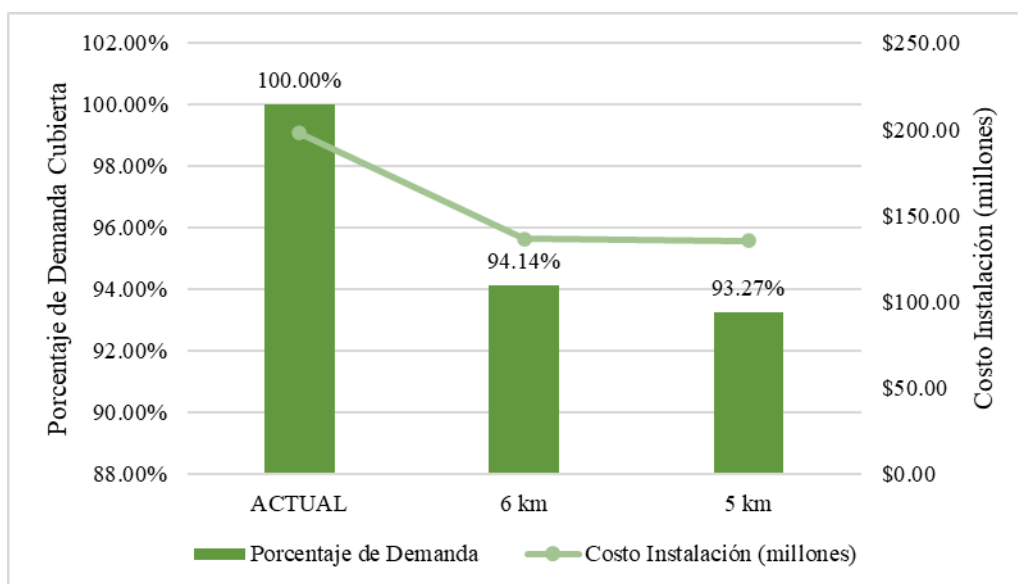


Figura 30. Porcentaje de demanda con capacidad aumentada para pacientes de 5-19 versus costo de instalación.

Tabla 17. Análisis de estado actual de la red de IPS para pacientes de 5-19 años versus resultado del modelo con aumento en la capacidad de atención.

Criterio	Estado actual (Radio 11 km)	Radio 5 km	Radio 6 km
Cobertura de pacientes	100%	93,27%	94,14%
Instalaciones habilitadas	76	15	15
Estimado de especialistas requeridos	304	105	105
Costo instalación habilitada Total	\$526.400.000,00 semanal	\$84.000.000,00 semanal	\$84.000.000,00 semanal
Porcentaje promedio de atención a pacientes con obesidad por IPS	37,62%	80,56%	81,30%
Estimación de costo total para atención a pacientes con obesidad	\$198.031.680,00 semanal	\$135.333.000,00 semanal	\$136.584.000,00 semanal

Haciendo una comparación con el escenario del punto 7.2, se observa que la cantidad de CDP habilitados es todavía más pequeño (Tabla 18), efecto del aumento de la capacidad de atención de

la demanda mínima, lo que demuestra que al tener una mayor disponibilidad de atención se puede brindar atención médica en menos centros de salud Figura 31 y Figura 32.

Tabla 18. Asignación de CDP para pacientes de 5-19 años con aumento en la capacidad de atención.

Radio Cobertura km	CDP	Demanda atendida	Radio Cobertura km	CDP	Demanda atendida semanal
5	110010566801	492	6	110010817116	501
	110010817103	347		110010817132	525
	110010817118	350		110010817134	285
	110010817133	445		110010817136	462
	110010817136	503		110010817144	528
	110010817143	448		110010817159	486
	110010817150	446		110010825801	281
	110010817158	401		110011612903	395
	110010936101	313		110012151503	508
	110012151501	509		110012216201	278
	110012151503	522		110012347101	297
	110012216201	302		110012507001	429
	110012742601	495		110012742601	509
	110013029601	526		110013029601	430
	110013029625	281		110013205901	525
Total	6380		Total	6439	

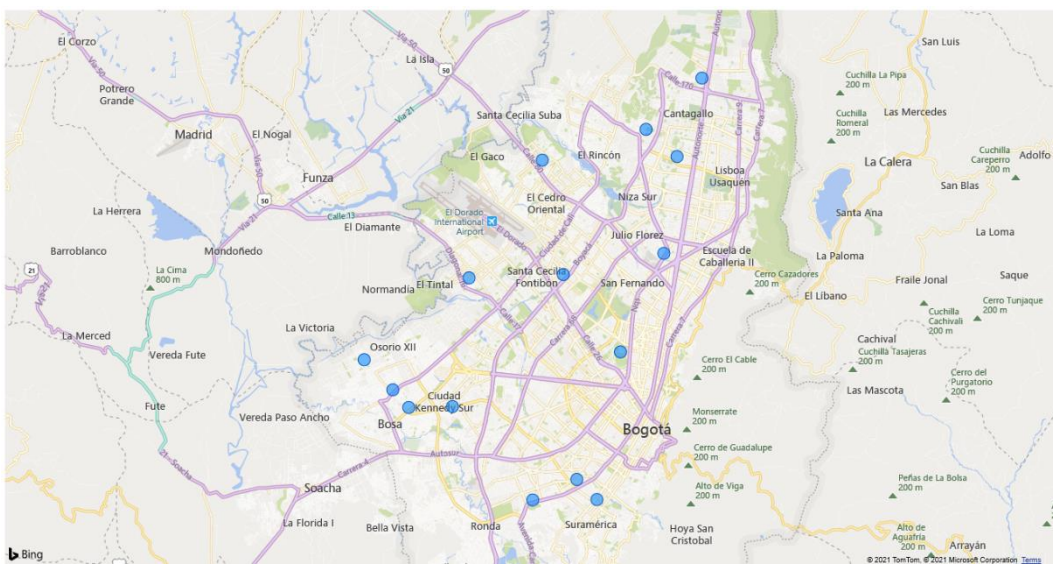


Figura 31. Ubicación de los CDP con aumento de capacidad de atención con radio de 5 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.

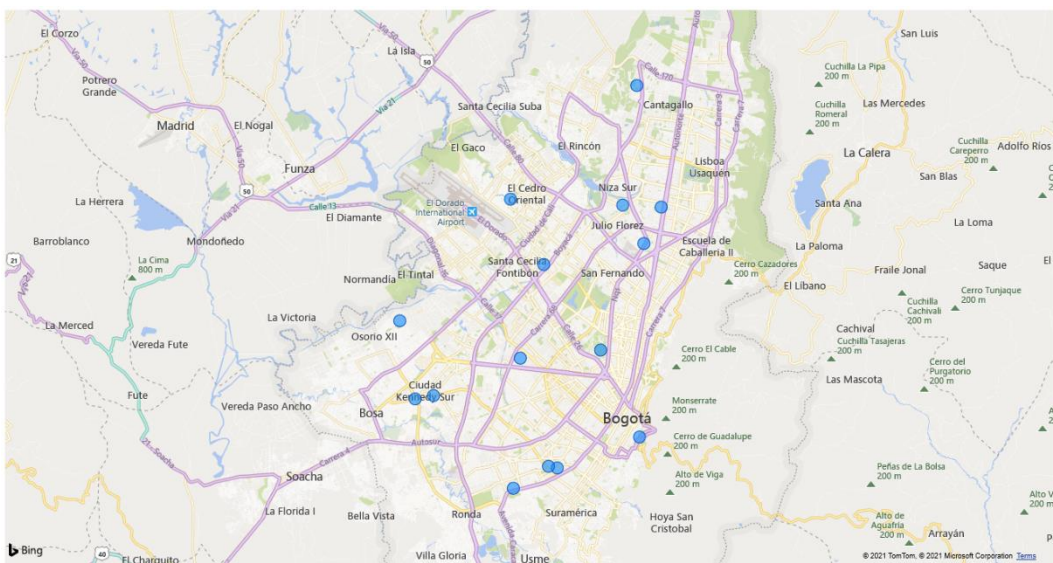


Figura 32. Ubicación de los CDP con aumento de capacidad de atención con radio de 6 km de cobertura para el tratamiento de pacientes de 5-19 años.

7.4 Análisis de Costo y Demanda

Finalmente se realiza un análisis de cómo se comporta la demanda cubierta dependiendo del costo de instalación (Figura 33), donde se aprecia que tanto para el tratamiento a pacientes de 0-4 años

como para el tratamiento de pacientes de 5-19 años, se hace necesario que la EPS0017 habilite más centros de detección y prevención para poder brindar una mayor cobertura a sus usuarios.

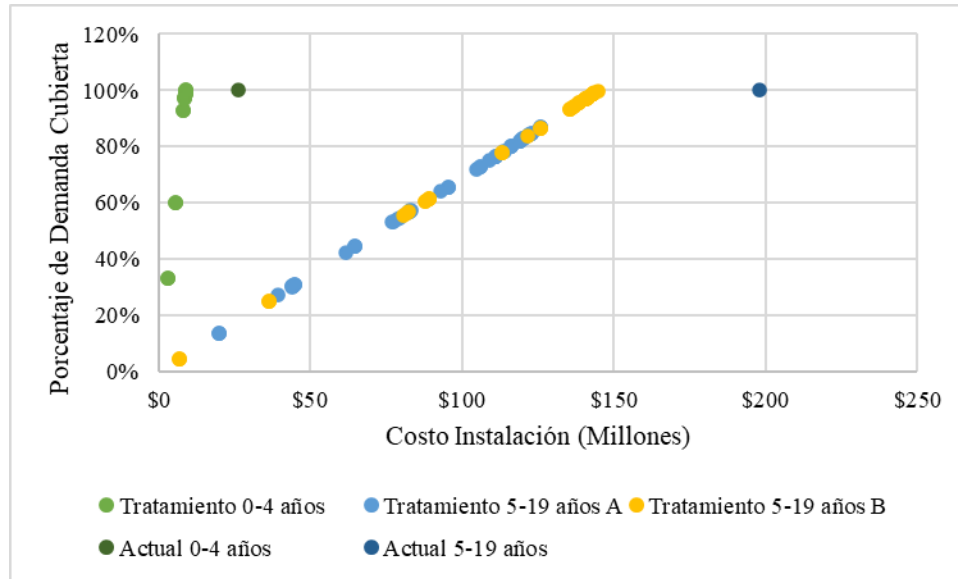


Figura 33. Gráfica de dispersión para la localización de CDP de demanda cubierta versus costo de instalación.

En la figura se observan tres líneas de tendencia, la primera corresponde al tratamiento de pacientes de 0-4 años en donde el punto máximo de cobertura no supera los \$20 millones. El tratamiento para pacientes de 5-19 años A y B mantienen una misma tendencia, donde se puede reafirmar el máximo de cobertura y costo de cada caso. Aunque se observa una tendencia ascendente, para la EPS0017, el costo de instalación para brindar una mayor cobertura de pacientes propuesta por el modelo de esta investigación es inferior al estado actual.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este trabajo de grado presenta la implementación de un modelo matemático para la asignación y optimización de Centros de Detección y Prevención para la implementación de un Tratamiento Cognitivo Conductual para pacientes con diagnóstico de obesidad infantil. Este modelo fue construido bajo el enfoque de programación entera mixta y la solución se obtuvo con el *software* GAMS. Los parámetros fueron obtenidos a partir del Sistema Integrado de Información de la Protección Social, el Registro de Prestadores de Servicios de Salud y la Secretaría Distrital de Planeación.

Se realizó la comparación del estado inicial de la red de prestadores de una aseguradora en particular (EPS017) con dos posibles escenarios para el tratamiento de pacientes dentro del rango de 0 a 4 años; también se presentan cuatro posibles escenarios para el tratamiento de pacientes de 5 a 19 años. Para estas estrategias fue fundamental considerar una distancia de viaje mínima para la asignación de los Centros de Detección y Prevención; también se estimó un costo operacional para tener un costo mínimo en la habilitación de las instalaciones, esto con el objetivo de obtener una amplia cobertura de pacientes en la ciudad de Bogotá adscritos a la Entidad Promotora de Salud antes mencionada.

Este modelo puede ser de utilidad para la toma de decisiones, ya que en un lapso corto y de una manera sencilla permite conocer la localización óptima de Centros de Detección y Prevención de la obesidad infantil, y podría ser una herramienta para brindar un mejor acceso y equidad a la población con diagnóstico de con este diagnóstico, ya que el Tratamiento Cognitivo Conductual es aplicable a cualquier tipo de obesidad (Dalle Grave et al., 2020).

Con la implementación de este modelo se puede observar que hay una máxima cobertura a los pacientes con diagnóstico de Obesidad infantil en diferentes escenarios, además, se puede evaluar la demanda cubierta de los Centros de Detección y Prevención con diferentes radios de cobertura, disminuyendo la dispersión y aumentando la concentración de pacientes a los centros habilitados. Este modelo también logra contribuir en la prestación de un servicio eficiente y de calidad para los pacientes, ya que se considera la capacidad de las instalaciones, por lo que se evita que la demanda sobrepase a la oferta.

Es importante mencionar que el modelo propuesto en esta investigación es una adaptación del modelo original de Daskin (1995), y de los expuestos en la revisión de literatura de Ahmadi-Javid et al. (2017). Los modelos originales solo consideran una función objetivo. En esta investigación se proponen objetivos de maximización de cobertura y minimización de distancias. La investigación permitió concluir que estos objetivos son de naturaleza conflictiva, y por lo tanto requieren análisis multiobjetivo y tratamientos posteriores para este tipo de relaciones.

Para una investigación futura donde se desee que este modelo brinde una localización más precisa de los Centros de Detección y Prevención se requiere conocer la Unidad de Planeamiento Zonal de la cual es originario el paciente, debido a que el Sistema Integrado de Información de la Protección Social solo proporciona el departamento del cual es originario el paciente. Para esta investigación se realizó una estimación basada en la densidad poblacional publicada por la Secretaría Distrital de Planeación y el Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

El modelo propuesto puede aplicarse en otras ciudades de Colombia o incluso en otras ciudades de América Latina, ya que tiene la flexibilidad de trabajar con diferentes datos bajo las mismas restricciones, lo único que se requiere son los datos particulares de la región a estudiar.

Se sugiere que para ejecutar este modelo debe hacerse bajo la estrategia de maximizar la cobertura de atención a pacientes con diagnóstico de obesidad infantil y al mismo tiempo minimizar los costos para la habilitación de Centros de Detección y Prevención. Al proporcionar atención médica especializada en pacientes con diagnóstico de obesidad podría reducir los índices de casos en Colombia en los próximos años.

9. REFERENCIAS

- Ahmadi-Javid, A., Seyedi, P., & Syam, S. S. (2017). A survey of healthcare facility location. *Computers and Operations Research*, 79, 223–263. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2016.05.018>
- Barengo, N. C., & Tamayo, D. C. (2015). Reported Diabetes Mellitus Prevalence Rates in the Colombia Healthcare System from 2009 to 2012: Analysis by Regions Using Data of the Official Information Sources. *International Journal of Endocrinology*, 2015. <https://doi.org/10.1155/2015/946419>
- Baskar, A., & Xavier, M. A. (2021). Proceedings A facility location model for marine applications. *Materials Today: Proceedings*, xxxx. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.107>
- Beheshtifar, S., & Alimoahmadi, A. (2015). A multiobjective optimization approach for location-allocation of clinics. *International Transactions in Operational Research*, 22(2), 313–328. <https://doi.org/10.1111/itor.12088>
- Campos Rivera, N. H., & Sotelo Quiñonez, T. I. (2019). Diseño y validación de una escala de actitudes maternas hacia el sobrepeso y la obesidad infantil. *Acta Colombiana de Psicología*, 22(2), 148–162. <https://doi.org/10.14718/acp.2019.22.2.8>
- Chacín, M., Carrillo, S., Salazar, J., Rojas, J., Chaparro, Y., Anderson, H., & Reyna, N. (2019). Obesidad Infantil: Un problema de pequeños que se está volviendo grande. *Revista Latinoamericana de Hipertensión*, 14(5), 616–623.
- Dai, T., & Tayur, S. (2019). Healthcare Operations Management: A Snapshot of Emerging Research. *Manufacturing & Service Operations Management*, 22(5), 1–37. <https://doi.org/10.1287/msom.2019.0778>
- Dalle Grave, R., Sartirana, M., & Calugi, S. (2020). Personalized cognitive-behavioural therapy for obesity (CBT-OB): Theory, strategies and procedures. *BioPsychoSocial Medicine*, 14(1), 1–8. <https://doi.org/10.1186/s13030-020-00177-9>
- Daskin, M. S. (1995). *Network and discrete location : models, algorithms and applications*. John Wiley & Sons.
- De la Vega Morales, R. I., & Cruz Hernández, L. (2018). Efectos de la terapia cognitivo-conductual en factores asociados a la obesidad: un estudio de caso. *Psicología y Salud*, 28(1), 85–94. <https://doi.org/10.25009/pys.v28i1.2541>
- Denton, B. T. (2013). *Handbook of Healthcare Operations Management* (Vol. 184). Springer.

Concepto 115871 de 2019, [Departamento Administrativo de la Función Pública] Por el cual se establece la jornada de trabajo de los médicos vinculados en la planta temporal de una Empresa Social del Estado. 7 de marzo de 2019.

Fernández-Ávila, D. G., Bernal-Macías, S., Rincón-Riaño, D. N., Gutiérrez Dávila, J. M., & Rosselli, D. (2019). Prevalence of systemic lupus erythematosus in Colombia: data from the national health registry 2012–2016. *Lupus*, 28(10), 1273–1278. <https://doi.org/10.1177/0961203319864168>

Fernández, D., Bernal-Macias, S., & Rincon-Riaño, D. N. (2019). Prevalence of Rheumatic Diseases in Colombia: An approach from Ministry of Health and Social Protection Data (SISPRO). *Annals of the Rheumatic Diseases*, 78(2), 629.1-629. <https://doi.org/10.1136/annrheumdis-2019-eular.6955>

Göleç, A., & Karadeniz, G. (2020). Computers & Industrial Engineering Performance analysis of healthcare supply chain management with competency-based operation evaluation. *Computers & Industrial Engineering*, 146(May), 106546. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106546>

Google. (n.d.). *Google Maps*. <https://www.google.com/maps/>

Guerriero, F., Miglionico, G., & Olivito, F. (2016). Location and reorganization problems: The Calabrian health care system case. *European Journal of Operational Research*, 250(3), 939–954. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.064>

Hermelin, D., Kubitz, J. M., Shabtay, D., Talmon, N., & Woeginger, G. J. (2019). Scheduling two agents on a single machine: A parameterized analysis of NP-hard problems. *Omega (United Kingdom)*, 83, 275–286. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2018.08.001>

Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital. (2019). *Unidad de Planeamiento Bogotá*. Unidad de Planeamiento Bogotá. <https://mapas.bogota.gov.co/>

Ioan, D., Prodan, I., Olaru, S., Stoican, F., & Niculescu, S. I. (2020). Mixed-integer programming in motion planning. *Annual Reviews in Control*, October. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.10.008>

Laporte, G., & Nickel, S. (2015). *Location Science*. Springer.

McLaughlin, D. B., & Hays, J. M. (2008). *Healthcare Operations Management*. Health Administration Press.

- McLaughlin, D. B., & Olson, J. R. (2017). *Healthcare Operations Management*. Health Administration Press.
- Norma Técnica para la Detección Temprana de las Aletraciones del Desarrollo del Joven de 10 a 29 años, (2005).
- Norma Técnica de detección de las alteraciones del Crecimiento y Desarrollo en menores de 10 años, (2007).
- Resolución Número 3280 de 2018, [Ministerio de Salud y Protección Social] Por medio de la cual se adoptan los lineamientos técnicos y operativos de la Ruta Integral de Atención para la Promoción y Mantenimiento de la Salud y la Ruta Integral de Atención en Salud para la Población Materno Perinatal y se establecen las directrices para su operación. 2 de Agosto de 2018.
- Ngui, A. N., & Apparicio, P. (2011). Optimizing the two-step floating catchment area method for measuring spatial accessibility to medical clinics in Montreal. *BMC Health Services Research*, 11(1), 166.
- Plan de acción para la prevención de la obesidad en la niñez y la adolescencia, (2015).
- Rahmaniani, R., Rahmaniani, G., & Jabbarzadeh, A. (2014). Variable neighborhood search based evolutionary algorithm and several approximations for balanced location – allocation design problem. *Int J Adv Manuf Technol*, 72(1–4), 145–159. <https://doi.org/10.1007/s00170-013-5602-9>
- Rodríguez Sánchez, Y., Gómez Figueroa, O., Diéguez Matellán, E., De León Rosales, L., & Rodríguez González, L. (2016). Localización-asignación de los servicios de atención primaria en un área de salud. *Revista Médica Electrónica*, 38(6), 837–850.
- Roehrich, J. (2015). Healthcare Operations Management. *Wiley Encyclopedia of Management*, 10, 1–3.
- Santana Castañeda, G., Aguilar Martínez, A. G., & Santana Juárez, M. V. (2015). Falta de cobertura de los servicios de salud y factores de localización óptima. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 373–394. <https://doi.org/10.5377/ce.v8i1.2066>
- Secretaria Distrital de Plaenación. (2018). *Secretaria Distrital de Plaenación*. <http://www.sdp.gov.co/>
- Serrano, J. A. (2018). La obesidad infantil y juvenil. *Quaderns de Polítiques Familiars. Revista de l'Institut D'Estudis Superior de La Familia*, 2, 1–10.

- Sistema Integrado de Información de la Protección Social. SISPRO. (2021). *SISPRO*. Ministerio de Salud y Protección Social. <https://www.sispro.gov.co/>
- Soroudi, A. (2017). *Power System Optimization Modeling in GAMS*. Springer.
- Temple, J. L., Cordero, P., Li, J., Nguyen, V., & Oben, J. A. (2016). A guide to non-alcoholic fatty liver disease in childhood and adolescence. In *International Journal of Molecular Sciences* (Vol. 17, Issue 6). <https://doi.org/10.3390/ijms17060947>
- Tham, M., & Chong, T. W. H. (2020). Evaluation of an online cognitive behavioural therapy weight loss programme as an adjunct to anti-obesity medications and lifestyle interventions. *Australasian Psychiatry*, 28(2), 140–147. <https://doi.org/10.1177/1039856219871882>
- Zarrinpoor, N., Fallahnezhad, M. S., & Pishvae, M. S. (2017). Design of a reliable hierarchical location-allocation model under disruptions for health service networks: A two-stage robust approach. *Computers and Industrial Engineering*, 109, 130–150. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.04.036>
- Zhang, W., Cao, K., Liu, S., & Huang, B. (2016). A multi-objective optimization approach for health-care facility location-allocation problems in highly developed cities such as Hong Kong. *Computers, Environment and Urban Systems*, 59, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2016.07.001>

10. ANEXOS

A. ANEXO 1 Tratamiento Cognitivo Conductual (0-4 años)

Tratamiento Cognitivo Conductual												
Mes	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12
Pediatría												

B. ANEXO 2 Tratamiento Cognitivo Conductual (5-19 años)

Tratamiento Cognitivo Conductual																										
Fase 1 (Perdida de Peso)																										Fase 2 (Mantenimiento de peso)
Módulo 1									Módulo 2									Módulo 3								
Mes	M-1				M-2				M-3					M-4				M-5				M-6				
Semana	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-7	S-8	S-9	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	S-22	S-23	S-24	S-25	S-26
Pediatría																										
Psicología																										
Nutrición																										
Actividad Física																										

Tratamiento Cognitivo Conductual																										
Fase 2 (Mantenimiento del peso)																										
Módulo 4							Módulo 5							Módulo 6												
Mes	M-7				M-8				M-9					M-10				M-11				M-12				
Semana	S-27	S-28	S-29	S-30	S-31	S-32	S-33	S-34	S-35	S-36	S-37	S-38	S-39	S-40	S-41	S-42	S-43	S-44	S-45	S-46	S-47	S-48	S-49	S-50	S-51	S-52
Pediatría																										
Psicología																										
Nutrición																										
Actividad Física																										

C. ANEXO 3 Registro de pacientes atendidos con obesidad infantil en Bogotá

Administradora	Pacientes Atendidos	Administradora	Pacientes Atendidos	Administradora	Pacientes Atendidos
EPS017	7,402	EMP023	65	CCF024	6
EPS008	4,884	EPS022	61	EAS027	6
EPS005	4,237	RES002	49	ESSC07	6
EPSS34	3,765	RES008	46	ESS091	5
EPS002	2,662	EMP028	38	PACC1416	4
DDSB11001	1,934	EPSS44	36	EMP029	2
EPS010	1,204	MAP1430	31	EPS033	2
EPS037	952	ESS207	30	EPSS45	2
EPS034	737	SSV1411	28	MSGC1326	1
EPS044	549	EPSS16	18	GCVCS1410	1
EPSS17	538	ESS133	15	CCF023	1

Administradora	Pacientes Atendidos	Administradora	Pacientes Atendidos	Administradora	Pacientes Atendidos
EMP017	432	ESS024	12	EPSI05	1
EPS016	296	SAP026	11	EPSIC5	1
CCF053	203	ESS062	10	EPSS33	1
EPS023	172	EPS018	9	ESS076	1
EMP002	131	CCF055	8	ESSC62	1
COL141	121	EPS001	7	RES014	1
EPSS41	120	EPS025	7		

Fuente: SISPRO, 2021

D. ANEXO 4 Densidad demográfica por rango de edad por UPZ

UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS	UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS
1. PASEO DE LOS LIBERTADORES	270	809	62. TUNJUELITO	3,032	10,059
2. LA ACADEMIA	41	164	63. EL MOCHUELO	114	411
3. GUAYMARAL	77	251	64. MONTE BLANCO	488	1,540
9. VERBENAL	7,533	23,623	65. ARBORIZADORA	4,389	16,725
10. LA URIBE	903	3,613	66. SAN FRANCISCO	7,058	21,419
11. SAN CRISTOBAL NORTE	4,247	13,727	67. LUCERO	16,585	52,488
12. TOBERIN	2,244	8,616	68. EL TESORO	4,991	16,397
13. LOS CEDROS	3,171	12,849	69. ISMAEL PERDOMO	14,388	48,157
14. USAQUEN	1,545	5,766	70. JERUSALEM	9,255	30,135
15. COUNTRY CLUB	717	3,412	71. TIBABUYES	20,254	66,298
16. SANTA BARBARA	1,367	5,293	72. BOLIVIA	4,134	16,997
17. SAN JOSE DE BAVARIA	2,862	12,686	73. GARCES NAVAS	7,917	27,587
18. BRITALIA	3,857	13,170	74. ENGATIVA	9,524	29,525
19. EL PRADO	6,057	20,971	75. FONTIBON	10,109	36,634
20. LA ALHAMBRA	1,680	7,001	76. FONTIBON SAN PABLO	2,778	9,571
21. LOS ANDES	1,844	7,447	77. ZONA FRANCA	3,520	9,933
22. DOCE DE OCTUBRE	5,817	17,798	78. TINTAL NORTE	2,505	5,327

LOCALIZACION DE RED DE PRESTADORES DE SERVICIO PARA LA ATENCION Y PREVENCION DE LA
OBESIDAD INFANTIL
JUAN JOSE HERNANDEZ SANCHEZ

UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS	UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS
23. CASA BLANCA SUBA	2,529	8,831	79. CALANDEIMA	7,510	18,465
24. NIZA	3,641	16,017	80. CORABASTOS	6,069	20,375
25. LA FLORESTA	1,369	5,717	81. GRAN BRITALIA	6,180	20,037
26. LAS FERIAS	5,875	21,006	82. PATIO BONITO	14,890	49,163
27. SUBA	10,588	36,393	83. LAS MARGARITAS	1,241	3,697
28. EL RINCON	26,271	84,936	84. BOSA OCCIDENTAL	17,625	58,944
29. MINUTO DE DIOS	8,109	26,052	85. BOSA CENTRAL	21,156	70,315
30. BOYACA REAL	7,582	25,362	86. EL PORVENIR	7,564	23,216
31. SANTA CECILIA	3,338	11,789	87. TINTAL SUR	6,834	21,240
32. SAN BLAS	5,478	19,743	88. EL REFUGIO	860	3,178
33. SOSIEGO	2,265	8,215	89. SAN ISIDRO - PATIOS	1,390	4,597
34. 20 DE JULIO	5,098	17,827	90. PARDO RUBIO	1,374	5,099
35. CIUDAD JARDIN	1,347	5,505	91. SAGRADO CORAZON	101	511
36. SAN JOSE	2,099	7,567	92. LA MACARENA	420	1,651
37. SANTA ISABEL	1,826	6,960	93. LAS NIEVES	329	1,324
38. RESTREPO	4,153	15,247	94. LA CANDELARIA	843	3,364
39. QUIROGA	4,117	15,036	95. LAS CRUCES	899	3,453
40. CIUDAD MONTES	3,623	13,429	96. LOURDES	2,577	9,413
41. MUZU	2,014	7,991	97. CHICO LAGO	741	2,587
42. VENECIA	7,591	26,508	98. LOS ALCAZARES	3,370	13,095
43. SAN RAFAEL	2,754	10,146	99. CHAPINERO	402	1,841
44. AMERICAS	4,964	19,094	100. GALERIAS	636	2,592
45. CARVAJAL	7,449	26,268	101. TEUSAQUILLO	433	2,029
46. CASTILLA	8,247	30,413	102. LA SABANA	2,282	8,231
47. KENNEDY CENTRAL	6,448	25,694	103. PARQUE SALITRE	343	1,084
48. TIMIZA	10,602	38,222	104. PARQUE SIMON BOLIVAR - CAN	52	340
49. APOGEO	3,086	12,091	105. JARDIN BOTANICO	117	536
50. LA GLORIA	6,579	21,736	106. LA ESMERALDA	605	2,962
51. LOS LIBERTADORES	4,779	16,833	107. QUINTA PAREDES	475	2,384

UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS	UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS
52. LA FLORA	1,184	4,409	108. ZONA INDUSTRIAL	159	604
53. MARCO FIDEL SUAREZ	3,812	12,801	109. CIUDAD SALITRE ORIENTAL	3,095	9,299
54. MARRUECOS	5,940	19,879	110. CIUDAD SALITRE OCCIDENTAL	1,953	8,745
55. DIANA TURBAY	5,374	16,153	111. PUENTE ARANDA	561	1,872
56. DANUBIO	2,887	10,393	112. GRANJAS DE TECHO	1,634	4,200
57. GRAN YOMASA	7,729	27,689	113. BAVARIA	1,029	4,703
58. COMUNEROS	5,266	19,360	114. MODELIA	1,845	9,153
59. ALFONSO LOPEZ	5,543	20,375	115. CAPELLANIA	1,192	4,173
60. PARQUE ENTRENUBES	191	922	116. ALAMOS	885	2,647
61. CIUDAD USME	876	3,334	117. AEROPUERTO EL DORADO	60	202
			Total	487,627	1,673,663

Fuente: Secretaría de Planeación, 2018

E. ANEXO 5 Estimado de pacientes por rango de edad y por UPZ

UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS	UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS
1. PASEO DE LOS LIBERTADORES	0	3	62. TUNJUELITO	3	41
2. LA ACADEMIA	0	1	63. EL MOCHUELO	0	2
3. GUAYMARAL	0	1	64. MONTE BLANCO	1	6
9. VERBENAL	9	97	65. ARBORIZADORA	5	68
10. LA URIBE	1	15	66. SAN FRANCISCO	8	88
11. SAN CRISTOBAL NORTE	5	56	67. LUCERO	19	215
12. TOBERIN	3	35	68. EL TESORO	6	67
13. LOS CEDROS	4	53	69. ISMAEL PERDOMO	17	197
14. USAQUEN	2	24	70. JERUSALEM	11	123
15. COUNTRY CLUB	1	14	71. TIBABUYES	23	271
16. SANTA BARBARA	2	22	72. BOLIVIA	5	69

UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS	UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS
17. SAN JOSE DE BAVARIA	3	52	73. GARCES NAVAS	9	113
18. BRITALIA	4	54	74. ENGATIVA	11	121
19. EL PRADO	7	86	75. FONTIBON	12	150
20. LA ALHAMBRA	2	29	76. FONTIBON SAN PABLO	3	39
21. LOS ANDES	2	30	77. ZONA FRANCA	4	41
22. DOCE DE OCTUBRE	7	73	78. TINTAL NORTE	3	22
23. CASA BLANCA SUBA	3	36	79. CALANDEIMA	9	75
24. NIZA	4	65	80. CORABASTOS	7	83
25. LA FLORESTA	2	23	81. GRAN BRITALIA	7	82
26. LAS FERIAS	7	86	82. PATIO BONITO	17	201
27. SUBA	12	149	83. LAS MARGARITAS	1	15
28. EL RINCON	30	347	84. BOSA OCCIDENTAL	20	241
29. MINUTO DE DIOS	9	106	85. BOSA CENTRAL	24	287
30. BOYACA REAL	9	104	86. EL PORVENIR	9	95
31. SANTA CECILIA	4	48	87. TINTAL SUR	8	87
32. SAN BLAS	6	81	88. EL REFUGIO	1	13
33. SOSIEGO	3	34	89. SAN ISIDRO - PATIOS	2	19
34. 20 DE JULIO	6	73	90. PARDO RUBIO	2	21
35. CIUDAD JARDIN	2	22	91. SAGRADO CORAZON	0	2
36. SAN JOSE	2	31	92. LA MACARENA	0	7
37. SANTA ISABEL	2	28	93. LAS NIEVES	0	5
38. RESTREPO	5	62	94. LA CANDELARIA	1	14
39. QUIROGA	5	61	95. LAS CRUCES	1	14
40. CIUDAD MONTES	4	55	96. LOURDES	3	38
41. MUZU	2	33	97. CHICO LAGO	1	11
42. VENECIA	9	108	98. LOS ALCAZARES	4	54
43. SAN RAFAEL	3	41	99. CHAPINERO	0	8
44. AMERICAS	6	78	100. GALERIAS	1	11
45. CARVAJAL	9	107	101. TEUSAQUILLO	0	8
46. CASTILLA	10	124	102. LA SABANA	3	34

UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS	UPZ	0-4 AÑOS	5-19 AÑOS
47. KENNEDY CENTRAL	7	105	103. PARQUE SALITRE	0	4
48. TIMIZA	12	156	104. PARQUE SIMON BOLIVAR - CAN	0	1
49. APOGEO	4	49	105. JARDIN BOTANICO	0	2
50. LA GLORIA	8	89	106. LA ESMERALDA	1	12
51. LOS LIBERTADORES	6	69	107. QUINTA PAREDES	1	10
52. LA FLORA	1	18	108. ZONA INDUSTRIAL	0	2
53. MARCO FIDEL SUAREZ	4	52	109. CIUDAD SALITRE ORIENTAL	4	38
54. MARRUECOS	7	81	110. CIUDAD SALITRE OCCIDENTAL	2	36
55. DIANA TURBAY	6	66	111. PUENTE ARANDA	1	8
56. DANUBIO	3	42	112. GRANJAS DE TECHO	2	17
57. GRAN YOMASA	9	113	113. BAVARIA	1	19
58. COMUNEROS	6	79	114. MODELIA	2	37
59. ALFONSO LOPEZ	6	83	115. CAPELLANIA	1	17
60. PARQUE ENTRENUBES	0	4	116. ALAMOS	1	11
61. CIUDAD USME	1	14	117. AEROPUERTO EL DORADO	0	1
Total				563	6,840

F. ANEXO 6 Coordenadas UTM de las IPS y UPZ para el cálculo de distancias

Unidad Planeamiento Zonal	Latitud	Longitud	Unidad Planeamiento Zonal	Latitud	Longitud
1. PASEO DE LOS LIBERTADORES	4.791	-74.034	115. CAPELLANIA	4.679	-74.127
9. VERBENAL	4.763	-74.033	117. AEROPUERTO EL DORADO	4.699	-74.142
10. LA URIBE	4.751	-74.031	26. LAS FERIAS	4.682	-74.091
11. SAN CRISTOBAL NORTE	4.736	-74.023	29. MINUTO DE DIOS	4.708	-74.098
12. TOBERIN	4.742	-74.039	30. BOYACA REAL	4.695	-74.104
13. LOS CEDROS	4.724	-74.036	31. SANTA CECILIA	4.677	-74.108

LOCALIZACION DE RED DE PRESTADORES DE SERVICIO PARA LA ATENCION Y PREVENCION DE LA
OBESIDAD INFANTIL
JUAN JOSE HERNANDEZ SANCHEZ

Unidad Planeamiento Zonal	Latitud	Longitud	Unidad Planeamiento Zonal	Latitud	Longitud
14. USAQUEN	4.693	-74.031	72. BOLIVIA	4.725	-74.116
15. COUNTRY CLUB	4.710	-74.043	73. GARCES NAVAS	4.714	-74.124
16. SANTA BARBARA	4.696	-74.046	74. ENGATIVA	4.714	-74.140
88. EL REFUGIO	4.666	-74.047	105. JARDIN BOTANICO	4.663	-74.102
89. SAN ISIDRO - PATIOS	4.668	-74.019	116. ALAMOS	4.686	-74.117
90. PARDO RUBIO	4.641	-74.057	2. LA ACADEMIA	4.785	-74.049
97. CHICO LAGO	4.672	-74.054	3. GUAYMARAL	4.818	-74.045
99. CHAPINERO	4.638	-74.064	17. SAN JOSE DE BAVARIA	4.763	-74.056
91. SAGRADO CORAZON	4.620	-74.066	18. BRITALIA	4.748	-74.057
92. LA MACARENA	4.611	-74.065	19. EL PRADO	4.724	-74.057
93. LAS NIEVES	4.605	-74.074	20. LA ALHAMBRA	4.698	-74.061
95. LAS CRUCES	4.590	-74.082	23. CASA BLANCA SUBA	4.744	-74.070
96. LOURDES	4.585	-74.071	24. NIZA	4.717	-74.074
32. SAN BLAS	4.562	-74.081	25. LA FLORESTA	4.700	-74.080
33. SOSIEGO	4.578	-74.086	27. SUBA	4.750	-74.088
34. 20 DE JULIO	4.565	-74.095	28. EL RINCON	4.732	-74.094
50. LA GLORIA	4.547	-74.089	71. TIBABUYES	4.746	-74.114
51. LOS LIBERTADORES	4.533	-74.090	21. LOS ANDES	4.683	-74.067
52. LA FLORA	4.507	-74.089	22. DOCE DE OCTUBRE	4.672	-74.079
56. DANUBIO	4.535	-74.116	98. LOS ALCAZARES	4.662	-74.068
57. GRAN YOMASA	4.516	-74.111	103. PARQUE SALITRE	4.661	-74.085
58. COMUNEROS	4.503	-74.118	100. GALERIAS	4.644	-74.073
59. ALFONSO LOPEZ	4.494	-74.103	101. TEUSAQUILLO	4.628	-74.074
60. PARQUE ENTRENUBES	4.527	-74.101	104. PARQUE SIMON BOLIVAR - CAN	4.648	-74.091
61. CIUDAD USME	4.480	-74.112	106. LA ESMERALDA	4.648	-74.086
42. VENECIA	4.583	-74.139	107. QUINTA PAREDES	4.631	-74.090
62. TUNJUELITO	4.558	-74.129	109. CIUDAD SALITRE ORIENTAL	4.643	-74.102
49. APOGEO	4.600	-74.165	37. SANTA ISABEL	4.598	-74.096
84. BOSA OCCIDENTAL	4.624	-74.190	102. LA SABANA	4.611	-74.084
85. BOSA CENTRAL	4.608	-74.194	35. CIUDAD JARDIN	4.584	-74.093
86. EL PORVENIR	4.642	-74.192	38. RESTREPO	4.591	-74.107
87. TINTAL SUR	4.629	-74.210	40. CIUDAD MONTES	4.607	-74.112
44. AMERICAS	4.623	-74.134	41. MUZU	4.599	-74.126
45. CARVAJAL	4.607	-74.141	43. SAN RAFAEL	4.620	-74.117
46. CASTILLA	4.642	-74.143	108. ZONA INDUSTRIAL	4.619	-74.097
47. KENNEDY CENTRAL	4.622	-74.156	111. PUENTE ARANDA	4.634	-74.109
48. TIMIZA	4.609	-74.162	94. LA CANDELARIA	4.597	-74.072

Unidad Planeamiento Zonal	Latitud	Longitud	Unidad Planeamiento Zonal	Latitud	Longitud
78. TINTAL NORTE	4.657	-74.153	36. SAN JOSE	4.574	-74.104
79. CALANDAIMA	4.649	-74.162	39. QUIROGA	4.583	-74.118
80. CORABASTOS	4.630	-74.162	53. MARCO FIDEL SUAREZ	4.570	-74.116
81. GRAN BRITALIA	4.620	-74.175	54. MARRUECOS	4.558	-74.116
82. PATIO BONITO	4.641	-74.170	55. DIANA TURBAY	4.545	-74.109
83. LAS MARGARITAS	4.637	-74.178	63. EL MOCHUELO	4.538	-74.130
113. BAVARIA	4.637	-74.129	64. MONTE BLANCO	4.499	-74.132
75. FONTIBON	4.677	-74.144	65. ARBORIZADORA	4.583	-74.153
76. FONTIBON SAN PABLO	4.695	-74.161	66. SAN FRANCISCO	4.564	-74.148
77. ZONA FRANCA	4.676	-74.161	67. LUCERO	4.550	-74.150
110. CIUDAD SALITRE OCCIDENTAL	4.655	-74.112	68. EL TESORO	4.539	-74.142
112. GRANJAS DE TECHO	4.653	-74.126	69. ISMAEL PERDOMO	4.585	-74.171
114. MODELIA	4.666	-74.122	70. JERUSALEM	4.566	-74.165

Fuente: IDECA, 2021

Código prestador	Tipo de Prestador	Latitud	Longitud	Código prestador	Tipo de Prestador	Latitud	Longitud
110010004401	Profesional Independiente	4.648	-74.109	110010817118	IPS	4.757	-74.048
110010018901	Profesional Independiente	4.696	-74.033	110010817132	IPS	4.615	-74.163
110010031701	Profesional Independiente	4.669	-74.058	110010817133	IPS	4.624	-74.181
110010061601	IPS	4.670	-74.059	110010817134	IPS	4.586	-74.106
110010066101	IPS	4.637	-74.068	110010817136	IPS	4.577	-74.121
110010103201	Profesional Independiente	4.695	-74.036	110010817142	IPS	4.735	-74.057
110010177401	Profesional Independiente	4.706	-74.052	110010817143	IPS	4.735	-74.072
110010199601	IPS	4.695	-74.036	110010817144	IPS	4.649	-74.170
110010216101	Profesional Independiente	4.676	-74.053	110010817150	IPS	4.637	-74.193
110010218301	Profesional Independiente	4.706	-74.053	110010817158	IPS	4.722	-74.117
110010229201	Profesional Independiente	4.707	-74.054	110010817159	IPS	4.633	-74.118
110010240401	IPS	4.663	-74.060	110010825801	IPS	4.599	-74.066
110010244801	Profesional Independiente	4.676	-74.053	110010911101	IPS	4.740	-74.034
110010248001	Profesional Independiente	4.668	-74.060	110010936101	IPS	4.640	-74.083
110010251701	Profesional Independiente	4.684	-74.050	110010936106	IPS	4.636	-74.068
110010254001	IPS	4.704	-74.043	110010945601	IPS	4.629	-74.067

Código prestador	Tipo de Prestador	Latitud	Longitud	Código prestador	Tipo de Prestador	Latitud	Longitud
110010444201	IPS	4.666	-74.110	110010959901	IPS	4.669	-74.059
110010547801	Profesional Independiente	4.637	-74.068	110011025101	IPS	4.740	-74.036
110010548004	IPS	4.669	-74.058	110011084801	Profesional Independiente	4.695	-74.038
110010557701	IPS	4.666	-74.061	110011565801	IPS	4.695	-74.038
110010559701	IPS	4.639	-74.070	110011607501	Profesional Independiente	4.636	-74.067
110010559702	IPS	4.639	-74.070	110011612903	IPS	4.699	-74.074
110010559703	IPS	4.708	-74.106	110011613301	IPS	4.665	-74.081
110010559704	IPS	4.687	-74.077	110011656701	IPS	4.694	-74.076
110010559705	IPS	4.624	-74.156	110011753601	IPS	4.671	-74.061
110010559711	IPS	4.747	-74.103	110011787001	IPS	4.742	-74.043
110010559712	IPS	4.636	-74.068	110011820901	Profesional Independiente	4.609	-74.072
110010559713	IPS	4.586	-74.113	110011947601	IPS	4.665	-74.062
110010559730	IPS	4.676	-74.057	110011953401	Profesional Independiente	4.670	-74.061
110010559732	IPS	4.684	-74.061	110011982401	Profesional Independiente	4.671	-74.066
110010566801	IPS	4.577	-74.093	110011992003	IPS	4.690	-74.069
110010568101	IPS	4.593	-74.091	110012042602	IPS	4.724	-74.046
110010571102	IPS	4.693	-74.048	110012075701	IPS	4.706	-74.052
110010649501	IPS	4.688	-74.049	110012151501	IPS	4.723	-74.059
110010719001	IPS	4.628	-74.112	110012151503	IPS	4.585	-74.102
110010764602	IPS	4.687	-74.064	110012216201	IPS	4.682	-74.065
110010817102	IPS	4.652	-74.063	110012347101	IPS	4.636	-74.083
110010817103	IPS	4.616	-74.174	110012376501	IPS	4.695	-74.053
110010817104	IPS	4.699	-74.032	110012507001	IPS	4.750	-74.068
110010817105	IPS	4.623	-74.113	110012605001	Profesional Independiente	4.702	-74.056
110010817106	IPS	4.721	-74.117	110012742601	IPS	4.673	-74.108
110010817107	IPS	4.651	-74.074	110013028901	IPS	4.591	-74.110
110010817108	IPS	4.605	-74.067	110013029101	IPS	4.743	-74.025
110010817109	IPS	4.635	-74.117	110013029601	IPS	4.617	-74.156
110010817112	IPS	4.661	-74.061	110013029625	IPS	4.672	-74.148
110010817116	IPS	4.701	-74.122	110013205901	IPS	4.698	-74.057
110010817117	IPS	4.682	-74.156	110013283301	IPS	4.693	-74.058

Fuente: REPS, 2021

Enlace a tabla de distancias:

https://drive.google.com/file/d/1RiRiyqL_fm4Ekcmi1NZPYOchEZXFQ/view?usp=sharing

G. ANEXO 7 Código GAMS

Enlace para modelo GAMS 0-4 años: https://drive.google.com/file/d/1-BHlq2LyIZv_917K1g9-II8VCNAn8QO8/view?usp=sharing

Enlace a tablas de Excel para modelo 0-4 años: https://drive.google.com/file/d/1en7sAgO-3DmE3QxiAbL_H_hlGy2Ky48H/view?usp=sharing

Enlace para modelo GAMS 5-19 años: <https://drive.google.com/file/d/1-EDOCAoiud8lRlnxJtQU-trZ0zq1WNNd/view?usp=sharing>

Enlace a tablas de Excel para modelo 5-19 años: <https://drive.google.com/file/d/1uDoxe1r-KahZV5vjrqnq5RkOfm2Jk2mD/view?usp=sharing>