

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**

**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



**LOCALIZACIÓN-ASIGNACIÓN ENTERA JERÁRQUICA DE  
INSTALACIONES CON VARIOS NIVELES DE SERVICIO Y  
CAPACIDADES ILIMITADAS PARA MEJORAR LA ACCESIBILIDAD  
A LAS REDES DE ATENCIÓN COMUNITARIA A LA SALUD  
MENTAL EN LA DIRECCIÓN DE REDES INTEGRADAS DE SALUD  
LIMA SUR**

**Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Industrial**

**AUTOR:**

**Muñoz Lopez, William Valentín**

**ASESOR:**

**Cornejo Sánchez, Christian Santos**

Lima, diciembre de 2021

## RESUMEN

En las últimas dos décadas, las cargas de enfermedad (medidas en “Años de Vida Saludable Perdidos”, AVISA) posiblemente relacionadas a los problemas de salud mental (PSM) lideran las listas de cargas de enfermedad por categorías de enfermedades en Perú, porque representan al menos 12.56% los AVISA por todas las causas con un componente discapacitante significativo de al menos 87.98%.

El Ministerio de Salud en el Perú (MINSA) planea enfrentar esta situación con el modelo comunitario de atención a la salud mental (respaldado por la Organización Mundial de la Salud y los Objetivo de Desarrollo Sostenible 2015-2030) como política de salud pública. Este modelo se operativiza a través de las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental (RACSM), las cuales se caracterizan por priorizar la accesibilidad e integrar los servicios de salud mental en el primer nivel de salud.

Por estas razones, esta tesis presenta la formulación de un modelo de localización-asignación entera jerárquica con cuatro distintos niveles de atención y capacidades ilimitadas para mejorar la accesibilidad a las RACSM. Los cuatro niveles se definen como (1) la atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM, (2) la atención ambulatoria de pacientes con PSM moderados y severos, (3) el internamiento de pacientes con PSM severos sin condición de desamparo y (4) el internamiento de pacientes con PSM severos con condición de desamparo; la interconexión entre ellas ocurre por el envío de pacientes desde una hacia otra instalación que prestan los servicios en dichos niveles. En el modelo un aspecto relevante es la accesibilidad, la cual se define como el producto entre la magnitud de un flujo de pacientes con PSM y la distancia que este recorre hacia un establecimiento de salud (recorrido ponderado).

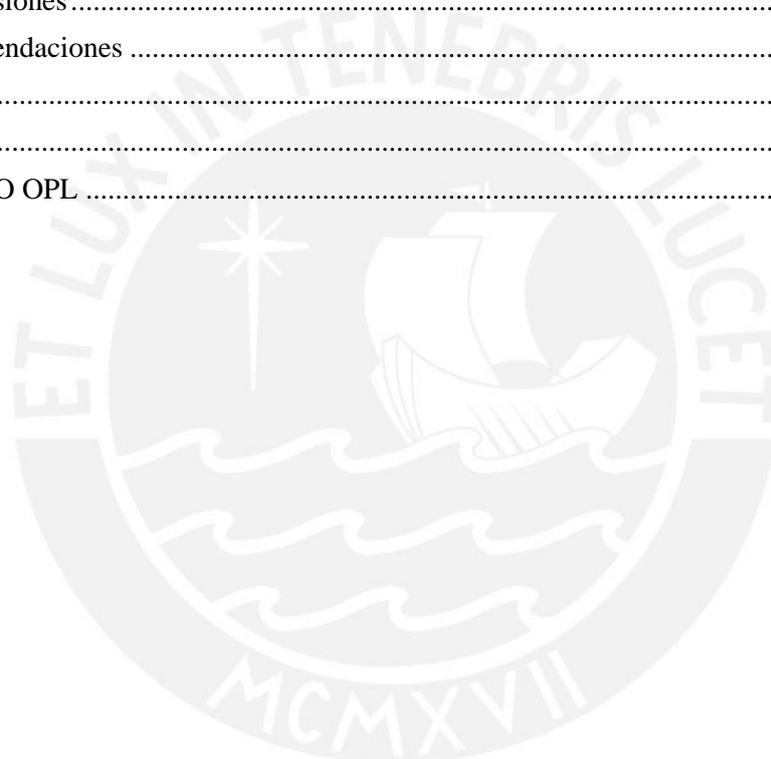
En la fase de solución del modelo, se presentan dos modificaciones sobre la formulación inicial (“formulación relajada” y “formulación extendida”) para encontrar soluciones factibles y con dos propiedades del óptimo (sin “consumos inútiles” de establecimientos de salud y sin flujos no únicos). La formulación extendida se resuelve con *CPLEX (branch and cut)*. Además, se definen criterios de parada de búsqueda de soluciones *relative MIP gap* y tiempo de ejecución total iguales a 0.0001% y diez minutos debido a que el modelo es *NP-Hard* y probablemente se requiera demasiado tiempo de computación.

Los resultados para la mejor solución a la formulación extendida (*relative MIP gap*, 89.15%; tiempo total de ejecución, 601.2 segundos) indican que las accesibilidades considerando las distancias hacia los niveles de servicio 1, 2, 3 y 4 tienen respectivamente como promedio 0.65, 3.18, 13.32 y 0.99 km; mediana 0.17, 2.08, 13.84 y 0 km; y rangos [0, 4.28], [0, 25.62], [4.52, 20.39] y [0, 9.86] km. La cantidad de pacientes atendidos es 388 871. Las cantidades de establecimientos localizados son respectivamente 50 de primer nivel no especializados, 10 centros de salud mental comunitarios, 1 unidad de hospitalización y 10 hogares protegidos.

# ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS .....	v
LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	7
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO.....	8
1.1. Consideraciones generales previas sobre la salud mental .....	8
1.1.1. La salud mental y el desarrollo sostenible .....	8
1.1.2. La carga de enfermedad y la salud mental .....	9
1.1.3. El sistema de salud según su financiamiento y según sus niveles de atención .....	10
1.1.4. El modelo comunitario de atención a la salud mental.....	11
1.2. El problema de localización de instalaciones médicas .....	12
1.2.1. Reseña sobre el problema de localización de instalaciones .....	12
1.2.2. Reseña sobre el problema de localización de instalaciones médicas .....	13
1.2.3. Reseña sobre los problemas de localización de instalaciones jerárquicas .....	14
CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL .....	15
2.1. La salud mental en el Perú según “Años de Vida Saludable Perdidos” .....	15
2.2. El sistema de salud peruano .....	17
2.2.1. Según el régimen de financiamiento .....	17
2.2.2. Según sus niveles de atención y categorías de establecimientos de salud .....	18
2.3. El sistema de salud mental peruano .....	20
2.3.1. Las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental y la accesibilidad a estas.....	20
2.3.2. Sistema de salud mental y problemas de salud mental en la DIRIS Lima Sur .....	22
CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO.....	25
3.1. El problema de localización de instalaciones médicas identificado .....	25
3.2. Asunciones del modelo de optimización propuesto.....	25
3.3. Formulación del modelo de optimización propuesto .....	27
3.3.1. Conjuntos e índices .....	27
3.3.2. Parámetros.....	27
3.3.3. Variables .....	28
3.3.4. Modelo de optimización propuesto.....	28
3.4. Datos necesarios y metodología para el modelo de optimización propuesto.....	32
3.4.1. Localización y estimación de la cantidad de personas con problemas de salud mental en los centros de demanda .....	32
3.4.2. Matriz de distancias más cortas entre centros de demanda .....	33
3.4.3. Referencias de pacientes con PSM en la RACSM.....	33
3.4.4. Cantidad de establecimientos de salud de la RACSM que se van a localizar .....	34
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	35

4.1.	Complejidad y parámetros de parada del proceso de búsqueda de soluciones al modelo de optimización.....	35
4.2.	Modificaciones de la formulación del modelo de optimización propuesto y sus soluciones	35
4.2.1.	Formulación del modelo de optimización propuesto relajado en sus restricciones (3)-(5)	36
4.2.2.	Formulación relajada sin “consumo inútil” de establecimientos de salud, ni flujos no únicos	37
4.3.	Resultados y análisis de la formulación extendida .....	40
4.3.1.	Localizaciones, asignaciones y capacidades de atención asociados a la RACSM en la DIRIS Lima Sur .....	40
4.3.2.	Accesibilidad asociada a la RACSM en la DIRIS Lima Sur .....	45
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		48
5.1.	Conclusiones.....	48
5.2.	Recomendaciones .....	49
REFERENCIAS.....		50
ANEXO 1234.....		54
ANEXO CÓDIGO OPL .....		55



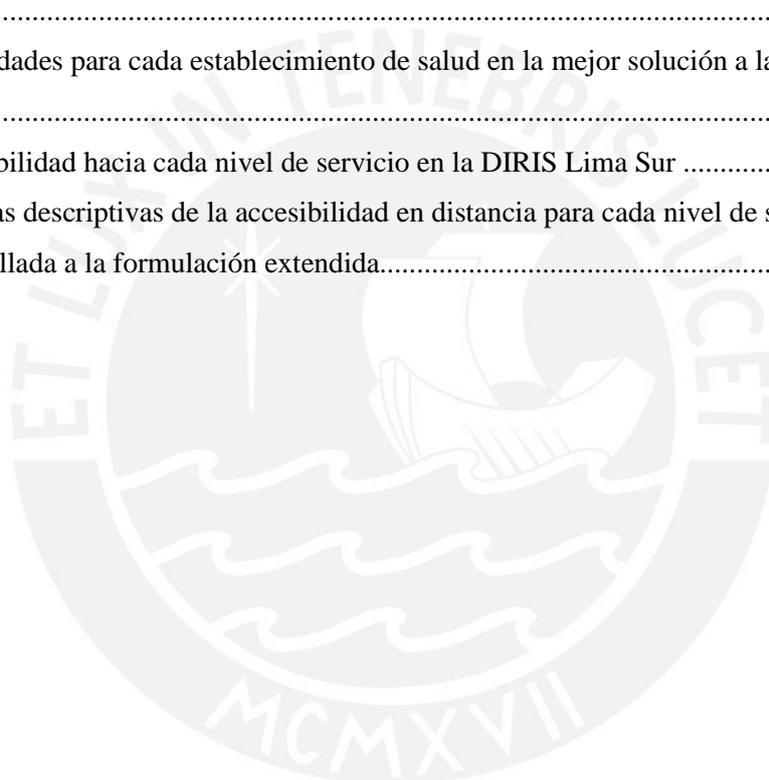
## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Pirámide del cuidado de la salud mental .....	12
Figura 2.1. Tendencia en personas de Aseguramiento Universal de Salud en Perú (2015-2020) .....	18
Figura 2.2. Brecha de accesibilidad a la atención de salud mental en Perú (2004-2012) .....	20
Figura 2.3. Tendencia de atenciones de salud mental con y sin CSMC en Perú (2014-2016) .....	22
Figura 3.1. Diagrama del modelo de localización-asignación jerárquico con cuatro niveles de servicio .....	26
Figura 4.1. Distribuciones de datos de la accesibilidad en distancia para cada nivel de servicio en la mejor solución hallada a la formulación extendida.....	47



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. AVISA total en Perú (2004–2016) .....	15
Tabla 2.2. AVISA por enfermedades no transmisibles en Perú (2004–2016) .....	16
Tabla 2.3. AVISA y AVD/AVP por salud mental en Perú (2004–2016) .....	16
Tabla 2.4. AVISA y AVD por la salud mental con respecto al AVISA y AVD total por región y Perú .....	17
Tabla 2.5. Cantidad de establecimientos de salud en la DIRIS Lima Sur según categoría (2017) .....	23
Tabla 4.1. Tabla de verdad para verificar "consumos inútiles" de establecimientos de salud .....	38
Tabla 4.2. Localizaciones de establecimientos de salud en la mejor solución a la formulación extendida .....	41
Tabla 4.3. Capacidades para cada establecimiento de salud en la mejor solución a la formulación extendida .....	44
Tabla 4.4. Accesibilidad hacia cada nivel de servicio en la DIRIS Lima Sur .....	46
Tabla 4.5. Medidas descriptivas de la accesibilidad en distancia para cada nivel de servicio en la mejor solución hallada a la formulación extendida .....	46



## LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AVD: Años de Vividos con Discapacidad.

AVISA: Años de Vida Saludable Perdidos.

AVP: Años de Vida Perdidos por Muerte Prematura.

CSMC: Centro de Salud Mental Comunitario.

DIRESA: Dirección Regional de Salud.

DIRIS: Dirección de Redes Integradas de Salud.

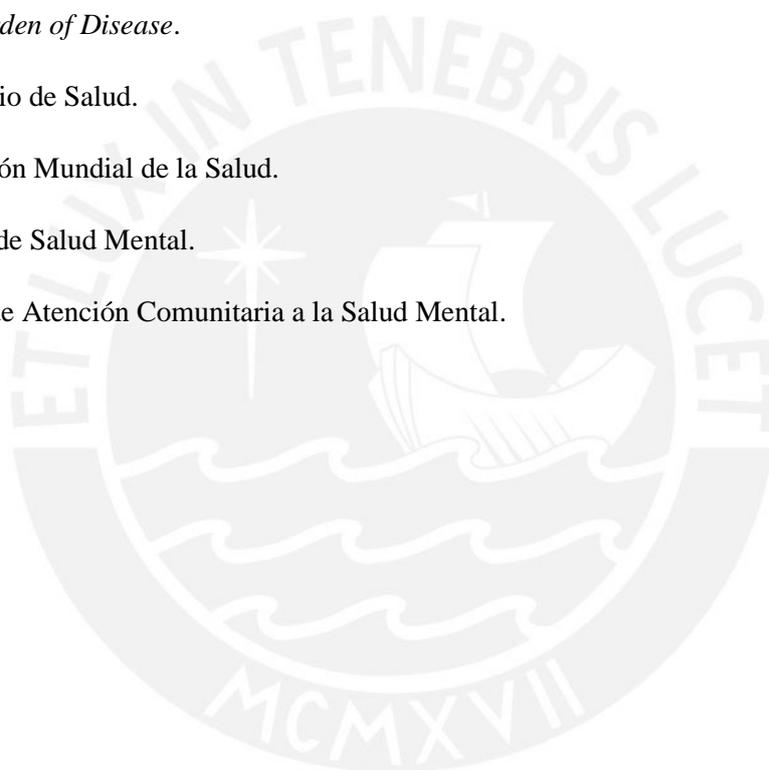
GBD: *Global Burden of Disease*.

MINSA: Ministerio de Salud.

OMS: Organización Mundial de la Salud.

PSM: Problemas de Salud Mental.

RACSM: Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental.



# INTRODUCCIÓN

Esta tesis trata sobre la localización-asignación entera jerárquica de instalaciones con cuatro distintos niveles de servicio y capacidades ilimitadas para mejorar la accesibilidad a las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental (RACSM) en la Dirección de Redes Integradas de Salud Lima Sur (DIRIS Lima Sur). La selección de este tema se fundamenta en dos razones: (1) la necesidad de una atención accesible a la salud mental de la población peruana y (2) la complejidad que implica localizar instalaciones en ese contexto y, por tanto, la necesidad de abordarlo a través de un enfoque científico.

La tesis se organiza en cinco capítulos. El capítulo 1 define nociones sobre la salud mental, su importancia y sus métricas. Asimismo, presenta algunas características de todo sistema de salud y del modelo comunitario de atención a la salud mental. Seguidamente, se repasa la literatura sobre problemas de localización de instalaciones, y en particular, instalaciones de salud.

El capítulo 2 describe la situación de la salud mental en Perú en términos de la carga de enfermedad en las dos últimas décadas. Asimismo, describe algunas características del sistema de salud peruano. Luego, se presentan las reglas a tener en cuenta en la formulación matemática del modelo comunitario de atención a la salud mental. Este capítulo termina acotando el alcance del modelo a la DIRIS Lima Sur

El capítulo 3 inicia resumiendo el problema identificado y luego plantea el objetivo principal del modelo de optimización propuesto. A continuación, se mencionan las asunciones fundamentales del modelo. Se exponen también los datos y metodología necesarios para resolver el problema en cuestión.

El capítulo 4 presenta y justifica dos modificaciones necesarias a la formulación inicial (“formulación relajada” y “formulación extendida”). Finalmente, se muestran y analizan los resultados de la formulación extendida.

Para culminar, el capítulo 5 se listan las conclusiones y recomendaciones que se desprenden de esta investigación.

# CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo se divide en dos partes. La primera parte, relacionada a la salud pública, presenta algunos conceptos para entender la salud mental y su importancia, la carga de enfermedad, el sistema de salud y el modelo comunitario de atención a la salud mental. La segunda parte, relacionada a la Investigación de Operaciones, presenta algunos conceptos sobre el problema de localización de instalaciones, y en específico, sobre el problema de localización jerárquico de instalaciones médicas con distintos niveles de servicios.

## 1.1. Consideraciones generales previas sobre la salud mental

### 1.1.1. La salud mental y el desarrollo sostenible

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018), la salud mental es un estado de bienestar que permite a cada individuo reconocer sus capacidades, afrontar el estrés y contribuir productivamente con su comunidad; además está determinada por múltiples factores, como los ambientales, sociales, psicológicos y biológicos. La salud mental es también prerrequisito de la salud física, clave para la inclusión social, la equidad, el acceso a la justicia y para el desarrollo económico sostenible (OMS, 2011).

Por su parte, Galderisi et al. (2015) señalan que el término “bienestar”, como aspecto clave de la definición propuesta por la OMS, no debería estar supeditado a sentimientos y funcionamientos exclusivamente positivos. Así, estos autores sugieren una acotación más próxima a la experiencia de vida humana y menos restringida por contextos sociales particulares, es decir, se refieren a la salud mental como un estado de equilibrio interno y dinámico del individuo compuesto por la relación armoniosa entre cuerpo y mente; el dominio de habilidades básicas cognitivas y sociales, y la flexibilidad y regulación emocional ante situaciones adversas; sin que la disparidad entre estos aspectos implique algún desequilibrio interno de consideración en la persona.

Sin embargo, a pesar del aparente disenso sobre la definición, podría afirmarse que sí hay consenso acerca de su importancia. Desde hace más de un siglo, White (1911) concluyó que un cuerpo saludable que no cohabita con una mente saludable no tiene razón de ser ni para el individuo, ni para la sociedad. Prince et al. (2007) sostienen que no puede haber salud sin salud mental, ya que un pobre estado de sanidad en mente incrementa el riesgo de enfermedades transmisibles, no transmisibles, así como de lesiones intencionales y no intencionales. Con respecto a solo las lesiones intencionales, se estima que para el 2020, 1.53 millones de personas se suicidarán cada año y que entre 15 y 30 millones aproximadamente lo intentarán (Bertolote & Fleischmann, 2002).

Por otro lado, en el marco de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), Eaton et al. (2014) critican la falta de una meta específica relacionada a la salud mental a pesar de ser relevante para varios de esos objetivos e incluso cuando el Reporte Mundial de la Felicidad (2013) la defina como el determinante

con mayor impacto en la satisfacción con la vida, contribuyendo considerablemente más que la salud física, edad, género o condición económica.

Posteriormente, en el año 2015, en el contexto de la evolución desde los ODM hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015-2030 (ODS) y luego de décadas de estudios científicos y movimientos de abogacía, la salud mental logra ser reconocida. Así, esta cuenta con metas e indicadores dentro del ODS 3 que señala “garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades”.

### **1.1.2. La carga de enfermedad y la salud mental**

En la década de 1990, los estudios del *Global Burden of Disease* (GBD) permitieron idear una medida única del estado de salud de las poblaciones que permita determinar el impacto de la muerte prematura (diferencia en años entre la expectativa de vida más alta del mundo y la edad al fallecer) y de la discapacidad (como secuela de alguna enfermedad/lesión, en años de duración y con severidad conocida) considerando solo las variables de tiempo (dimensión única y común), de sexo y edad (características no relacionadas directamente al estado de salud del individuo) para excluir los factores socioeconómicos de la métrica (OMS et al., 1996).

Dicha métrica toma especial relevancia, ya que cuantifica la pérdida de salud a causa de deceso prematuro, enfermedad o discapacidad, y permite además “evidenciar otras causas de enfermedad y lesiones producto de los cambios demográficos y de los nuevos estilos de vida que, sin ocasionar la muerte, (...) provocando mayores consecuencias en la vida productiva de un país” (Ministerio de Salud [MINSAL], 2018b, p. 9).

En este sentido, la carga de enfermedad es la pérdida de la salud debido a diversas causas clasificadas en tres grandes grupos de enfermedades: transmisibles, maternas, perinatales y nutricionales; no transmisibles, y por accidentes y lesiones (MINSAL, 2006).

Asimismo, la carga de enfermedad abarca criterios objetivos y subjetivos, porque, por un lado, emplea información de hechos concretos como la mortalidad, la incidencia y prevalencia de enfermedades, y, por otro lado, utiliza valoraciones no precisas y con cierto grado de consenso social. Sin embargo, su importancia radica en que la carga de enfermedad permite una cuantificación más integral de la salud en la población, pues introduce el concepto de bienestar a través del componente de discapacidad, es decir, que se evoluciona de un enfoque de sanidad basado en la supervivencia a uno en la calidad de vida acorde con la situación social y económica de algún territorio (MINSAL, 2008).

En esta tesis, se emplea la terminología propia del sistema de salud peruano. Así, la carga de enfermedad de una población se mide a través del indicador “Años de Vida Saludable Perdidos” (AVISA), el cual está compuesto por los “Años de Vida Perdidos por Muerte Prematura” (AVP, indicador de mortalidad) y por los “Años Vividos con Discapacidad” (AVD, indicador de calidad de vida) (MINSAL, 2006).

Por otro lado, según la OMS et al. (1996), los resultados del GBD demuestran que la discapacidad juega un papel importante en el estado de salud de la población y que las enfermedades mentales —las cuales serían las expresiones más claras de la afectación a la salud mental— representan una carga de enfermedad significativa y hasta entonces invisibilizada. Así, para estos autores, en 1990, cinco de las diez causas más discapacitantes fueron las condiciones psiquiátricas y neurológicas, que a nivel mundial representaron el 28% y el 10.5% de los AVD y AVISA, respectivamente y con un pronóstico al 2020 de 15% de los AVISA globales. No obstante, dichas cifras subestimarían la carga de enfermedad mental por más de un tercio según Vigo et al. (2016).

Por último, cabe mencionar que la carga de enfermedad es mayor cuanto más grande es la población; por consiguiente, para efectos de comparación entre años, es necesario hallar la razón de AVISA (debido a la causa *i*) entre la población total de determinado espacio a la mitad del periodo en estudio y multiplicado por 1 000 habitantes, para medir el riesgo del lugar de padecer años no saludables en cierto contexto temporal (MINSa, 2008, 2018b).

### **1.1.3. El sistema de salud según su financiamiento y según sus niveles de atención**

Según Lameire, Joffe y Wiedemann (1999), a pesar de que cada sistema de salud y los valores fundamentales que los sostienen difieren según tradiciones, normas, contratos sociales, historias y políticas; existen al menos tres modelos de sistemas según la fuente de su financiamiento: Beveridge, Bismarck y de aseguramiento privado, los cuales intentan lograr una mezcla óptima de acceso a los servicios de salud, la calidad de estos y la eficiencia del costo.

Según Donev et al. (2013), el modelo Beveridge (“medicina socializada”) brinda cobertura a todos los ciudadanos, ofrece beneficios de salud básicos, se financia a través de impuestos, es sin fines de lucro y los proveedores son principalmente estatales (Reino Unido, Suecia, Dinamarca, entre otros). El modelo Bismarck brinda cobertura al 60-80% de los ciudadanos, ofrece una canasta básica de servicios médicos, se financia a través de deducciones de salarios, podría generar ingresos y los proveedores son tanto públicos como privados (Alemania, Suiza, Francia, entre otros). En cuanto al modelo de aseguramiento privado, brinda cobertura a quienes adquieren el bien o servicio, genera rentabilidad y los proveedores son empresas privadas (Estados Unidos).

Adicionalmente, Wallace (2013) refieren que Reid (2012) identifica el modelo Douglas o Seguro Nacional de Salud el cual brinda cobertura a todos los ciudadanos, se financia a través de impuestos y deducciones de salarios, podría generar ingresos, presenta proveedores público-privados y además suele controlar sus costos limitando los pagos de servicios de salud o imponiendo tiempos de espera (Canadá).

Cabe mencionar la fuente de financiamiento “gasto de bolsillo”. La OMS (s.f.) la define como los pagos directos realizados por las personas a los proveedores de salud al momento del acceso al bien o servicio

y que, por lo tanto, excluye cualquier tipo de pago previo, sea mediante impuestos, primas de seguros o contribuciones.

Con respecto al sistema de salud según sus niveles de atención, según Donev et al. (2013), es posible reconocer cuatro niveles de atención en todo sistema de salud. El nivel cero es el autocuidado o atención no profesional; implica la participación de la comunidad para conseguir su propio bienestar. El primer nivel o “primer contacto” del paciente con los servicios de salud ofrece cuidados profesionales de la salud (no necesariamente por médicos cirujanos) no especializados y es generalmente ambulatoria (el paciente no es internado). El segundo nivel o “nivel intermedio” ofrece cuidados médicos especializados en un hospital general; usualmente, los pacientes complicados son transferidos aquí desde el primer nivel de atención. El tercer nivel o “nivel central” ofrece cuidados médicos y se caracteriza por un alto grado de subespecialización e infraestructura médica; este es el último nivel de resolución a un problema de salud en el sistema.

#### **1.1.4. El modelo comunitario de atención a la salud mental**

A partir de 1970, el paradigma sobre la salud mental cambia a través de cuatro ideas: (1) la naturaleza de la salud mental es tanto biológica como sociocultural, por tanto, merece intervenciones desde ambos ángulos; (2) la desinstitucionalización, es decir, el traslado del lugar de su atención desde la institución psiquiátrica a la comunidad; (3) la provisión de esta atención es asunto y compromiso de gente con diversas formaciones y experiencias; (4) el reconocimiento de las perspectivas de los pacientes afectados en su salud mental (Patel et al., 2018).

Según Desviat (2010), ese nuevo paradigma, junto con el rechazo a la reclusión de los pacientes con trastornos mentales como práctica institucionalizada, la ineficacia de los hospitales psiquiátricos, y el irrespeto a la dignidad y derechos de los pacientes allí aislados, generaron un modelo de atención a la salud mental con la comunidad como eje principal, es decir, un modelo comunitario de atención a la salud mental. Este modelo se basa en cuatro supuestos fundamentales: (1) la desinstitucionalización no implica solamente un traslado físico desde las instituciones tradicionales hacia las comunidades; (2) la comunidad es la alternativa de espacio más terapéutica, es decir, la vía más eficaz para tratar problemas de salud mental; (3) las comunidades pueden y quieren asumir la responsabilidad del cuidado mental de los enfermos; (4) los establecimientos de atención a la salud mental basados en la comunidad igualan o sobrepasan las funciones del hospital psiquiátrico (Bachrach, 1978).

En la actualidad, sin embargo, el modelo comunitario de atención a la salud mental tiene un alcance mayor a los pacientes inicialmente vulnerados por prácticas pasadas (pacientes con trastornos severos y aislados en algún hospital psiquiátrico). Así, Thornicroft, Deb y Henderson (2016) caracterizan a dicho modelo como los principios y prácticas para (1) promover la salud mental en una población con necesidades particulares; (2) reforzar las aspiraciones y cualidades de la gente con trastornos mentales;

(3) promover una red amplia de servicios y recursos de adecuada capacidad; (4) priorizar los servicios basados en evidencia y orientados a la recuperación de los pacientes afectados.

En este sentido, es conveniente mostrar la figura 1.1. de la pirámide del cuidado de la salud mental de la OMS (2009), en la cual se observa que un solo nivel de atención a la salud mental no puede satisfacer todas las necesidades de sanidad mental de la población. En consecuencia, el cuidado de la salud mental debería aproximarse como un sistema con distintas selecciones de servicios que se ajusten a cada necesidad.

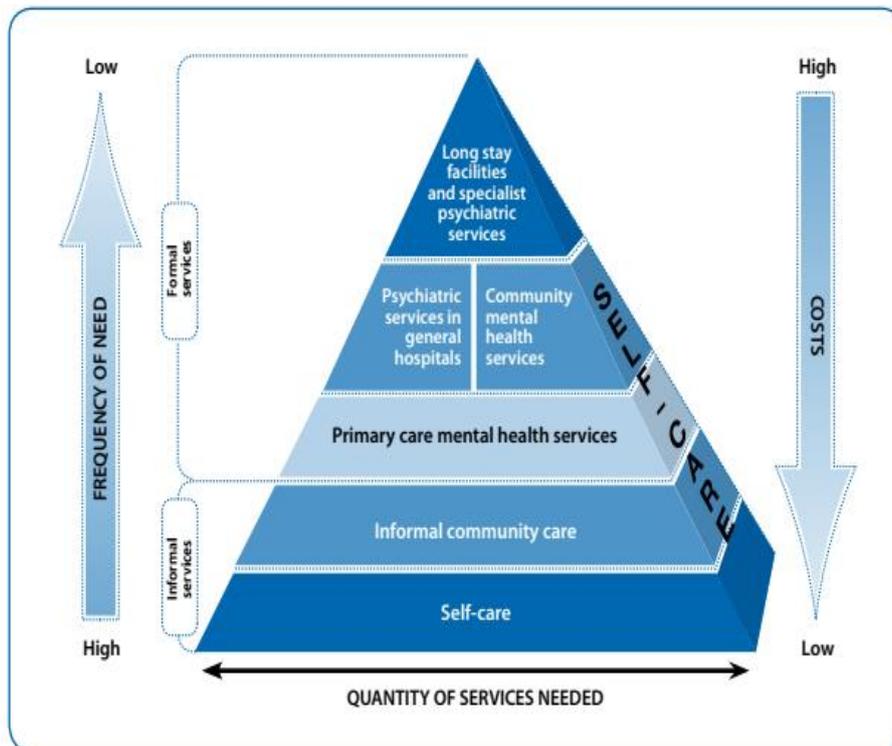


Figura 1.1. Pirámide del cuidado de la salud mental  
Fuente: Tomado de OMS (2009)

En resumen, la salud mental genera condiciones para el desarrollo sostenible, debido principalmente a que su afectación tiene una carga de enfermedad significativa por su capacidad discapacitante. Asimismo, la concepción de un subsistema público o privado, encargado de velar por el buen estado de la salud mental de una población debería configurarse principalmente en el nivel primario de atención de salud, para promover la participación de la comunidad en cuidar de su propia sanidad mental y evitar la hospitalización prolongada de pacientes vulnerables en hospitales psiquiátricos, porque, de acuerdo con la literatura reseñada, estos son ineficaces y propician el maltrato a los pacientes allí aislados.

## 1.2. El problema de localización de instalaciones médicas

### 1.2.1. Reseña sobre el problema de localización de instalaciones

El problema de localización se refiere a la distribución espacial de objetos siguiendo el “mejor” criterio (Brandeau & Chiu, 1989). Dicho problema es el planteamiento central de la Ciencia de la Localización,

disciplina de conocimiento cuyos orígenes son materia de controversia y que además no emergió como un campo de estudio unificado sino hasta la década de 1960 (Laporte et al., 2015).

En la literatura revisada, se puede constatar que el caso de aplicación más recurrente del problema de localización es el de la ubicación de instalaciones de servicio a determinados centros de demanda; por lo tanto, en adelante, se empleará el término problema de localización de instalaciones.

Según Scaparra y Scutellà (2001) todo problema de localización de instalaciones se constituye a partir de tres elementos interrelacionados (instalaciones, consumidores y espacio) y un conjunto de criterios de optimalidad bien definidos para ubicar instalaciones con respecto a los consumidores dentro de una configuración espacial.

Cabe resaltar, de entre los tres elementos interrelacionados, las instalaciones y su cantidad. Si existe más de una instalación localizada en la solución óptima del problema, entonces simultáneamente se requiere también asignar los consumidores hacia los establecimientos de servicio (Eiselt & Marianov, 2011). Esta situación se conoce como el problema de localización-asignación de instalaciones, el cual es una composición de los problemas de localización y de transporte (Scott, 2010).

En cuanto al problema de localización-asignación de instalaciones, Rahman y Smith (2000) señalan que la selección de un criterio de optimalidad apropiada depende de la naturaleza pública o privada de la instalación. Estos autores también exponen que las diversas interpretaciones que se le den al objetivo de maximizar el bienestar público conllevan a diversas formulaciones del problema.

### **1.2.2. Reseña sobre el problema de localización de instalaciones médicas**

La literatura sobre el problema de localización de instalaciones médicas refiere conceptos como accesibilidad, disponibilidad y adaptabilidad; estas tres nociones se caracterizan principalmente en función de la robustez de sus soluciones de localización óptimas con respecto a la incertidumbre a futuro sobre la demanda-oferta de servicios médicos, y en función de las condiciones de operación de los proveedores de salud (Daskin & Dean, 2004).

Otro concepto muy discutido en el problema de localización de instalaciones médicas es la naturaleza múltiple de su criterio de optimalidad, ya que participan en la decisión tanto los consumidores como los proveedores de salud y la comunidad, cada cual con sus propias prioridades (Güneş & Nickel, 2015). Estos autores mencionan algunas preferencias para cada caso; por ejemplo, el costo de traslado para los consumidores hacia las instalaciones médicas; el costo de invertir y operar en servicios de salud para los proveedores de salud, y la equidad de acceso o la carga de trabajo de los profesionales de la salud para la comunidad.

Por su parte, Verter y Zhang (2015) sugieren atacar el problema desde la perspectiva de la medicina preventiva, porque esta toma en cuenta dos características interesantes: (1) la decisión del usuario (sea racional con información completa o basada en la teoría de la utilidad aleatoria) y (2) la maximización

de la accesibilidad (a través de los *proxies* distancia o tiempo con o sin congestión). Afshari y Peng (2014) agregan que para establecer o mejorar redes de medicina preventiva, la cobertura y la distancia son esenciales para la solución óptima.

En cuanto a los modelos de optimización para el problema de localización de instalaciones médicas, Daskin y Dean (2004) señalan que los más comunes son *Location Set Covering Problem*, *Maximal Covering Location Problem* y P-mediana.

Cabe mencionar una aplicación de interés en el trabajo de Shariff et al. (2012) en Malasia, cuyo sistema de salud de tres niveles de atención podría asemejarse al peruano. Estos autores hallaron que, bajo los supuestos de una formulación *Maximal Covering Location Problem* con capacidades limitadas, solo se cumplía en un 77.8% la política del gobierno que garantizaba una cobertura no mayor a 5 km de distancia entre todos los ciudadanos y los servicios de salud.

### **1.2.3. Reseña sobre los problemas de localización de instalaciones jerárquicas**

Los sistemas de salud están organizados en sistemas jerárquicos (más de un nivel de servicio) tanto en países industrializados como en naciones en desarrollo (Rahman & Smith, 2000). Asimismo, Narula y Ogbu (1979) refieren a Bryant (1969), Fendall (1963) y Gish (1971) quienes recomiendan sistemas jerárquicos de instalaciones médicas para los países en desarrollo porque la mayoría de estos países no tienen suficientes recursos (financieros, humanos) para implementar instalaciones médicas adecuadas en cada centro poblado (centro de demanda).

En cuanto a los modelos de optimización, Narula (1984, 1986) menciona la amplia literatura sobre el problema de localización P-mediana (minisum) y P-centro (minimax o problema de cobertura). Además, Narula (1984, 1986) explica que un problema de localización P-mediana o P-centro equivale respectivamente a un problema jerárquico P-mediana o P-centro con un solo nivel de servicio. Incluso, Narula (1986) presenta algunas definiciones para clasificar a los problemas de localización jerárquicos de k-niveles de servicio.

Sahin y Süral (2007) presentan una reseña más reciente sobre los modelos de localización jerárquicos e indican las siguientes propiedades de dichos modelos: (1) el patrón de flujo (flujo único o múltiple); (2) la variedad de servicios en cada tipo instalación (servicios anidados o excluyentes con respecto a los demás tipos de instalaciones); (3) la configuración espacial; (4) el objetivo sea P-mediana o P-centro. Şahin y Süral (2007) añaden que en este tipo de problemas de localización jerárquicos existen dos modelos de programación mixtos-enteros básicos, basados en flujos o en asignaciones.

Por último, cabe mencionar la propiedad de referencias (transferencia de pacientes desde un centro de nivel  $k$  hacia uno  $k + 1$ ) en jerarquías de sistemas de salud presentada por Narula (1986): los pacientes rara vez saben con precisión qué nivel de atención requieren, entonces estos acceden al establecimiento más próximo y a partir de este, son transferidos a un nivel más adecuado.

## CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL

Este capítulo se divide en tres partes. La primera parte presenta la situación de la salud mental en el Perú a través de las cargas de enfermedad registradas para los años 2004, 2008, 2012 y 2016. La segunda parte presenta algunas características del sistema de salud peruano según su financiamiento y sus niveles de atención. La tercera parte ahonda en el subsistema de salud peruano destinado al cuidado de la salud mental de la población según las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental.

### 2.1. La salud mental en el Perú según “Años de Vida Saludable Perdidos”

En la revisión de la literatura, se identifican solo cuatro documentos relativos a la carga de enfermedad en el Perú en cuatro periodos distintos: MINSA (2008), Valdez-Huarcaya et al. (2012), MINSA (2014) y MINSA (2018b) que calculan los AVISA por todas las causas en el país con base en los años 2004, 2008, 2012 y 2016, respectivamente.

Estos cuatro estudios se evalúan con el propósito de describir la situación del país desde el año 2004 hasta el año 2016 en cuanto a la carga de enfermedad relacionada a la salud mental asumiendo dos puntos: (1) la afectación a la salud mental se explicaría principalmente debido a enfermedades bajo las categorías de trastornos mentales y del comportamiento o a enfermedades neuropsiquiátricas; (2) las categorías de enfermedades mencionadas en el primer punto estarían clasificados exclusivamente dentro las enfermedades no transmisibles. Cabe mencionar que estas asunciones son necesarias para el análisis conjunto del periodo 2004 al 2016, debido a algunas diferencias metodológicas a lo largo de los cuatro documentos en cuanto a la categorización de enfermedades.

Así, para los cuatro estudios con base en los años 2004, 2008, 2012 y 2016, en la tabla 2.1. se observa la evolución de los AVISA a lo largo de esos cuatro años en términos de sus respectivas razones de AVISA y componentes AVP/AVD. De la tabla 2.1., es explícito que al menos el 52.2% de los AVISA totales (debido a todas las causas) está determinado por la discapacidad que estos AVISA producen (componente AVD) en cada año.

Tabla 2.1. AVISA total en Perú (2004–2016)

Año base	AVISA (años)	razón AVISA (por 1 000 habitantes)	razón AVP (por 1 000 habitantes)	razón AVD (por 1 000 habitantes)
2004	5 056 866	183.40	86.01	97.39
2008	5 249 641	182.20	75.07	107.13
2012	5 800 949	192.50	92.02	100.49
2016	5 315 558	168.80	69.71	99.09

Elaborado con datos de MINSA (2008, 2014, 2018b) y Valdez-Huarcaya et al. (2012)

Con respecto a las enfermedades no transmisibles para los años 2004, 2008, 2012 y 2016 (tabla 2.2), se observa también la evolución de sus AVISA a lo largo de esos cuatro años en términos de sus respectivas

razones de AVISA y componentes AVP/AVD. De esta información, es explícito que los AVISA debido a enfermedades no transmisibles representan al menos 57.86% de los AVISA totales. Este es un indicador de la transición epidemiológica en los periodos de estudio para el país desde fuentes de enfermedad principalmente transmisibles hacia fuentes principalmente no transmisibles. Asimismo, es explícito que el componente de discapacidad (AVD) de los AVISA debido a enfermedades no transmisibles representa al menos el 60.69% de los AVISA debido a enfermedades no transmisibles para los años en los que se cuentan con datos (2004, 2012 y 2016). Este es un indicador de transición epidemiológica dentro de las enfermedades no transmisibles en los periodos de estudio para el país desde la preponderancia del factor mortalidad hacia un factor de discapacidad más predominante.

Tabla 2.2. AVISA por enfermedades no transmisibles en Perú (2004–2016)

Año base	AVISA por enfermedades no transmisibles (años)	razón AVISA enfermedades no transmisibles (por 1 000 habitantes)	razón AVP enfermedades no transmisibles (por 1 000 habitantes)	razón AVD enfermedades no transmisibles (por 1 000 habitantes)
2004	2 958 267	107.30	41.74	65.56
2008	3 037 614	105.40	sin datos	sin datos
2012	3 508 431	116.40	45.75	70.65
2016	3 516 662	111.70	39.88	71.82

Elaborado con datos de MINSA (2008, 2014, 2018b) y Valdez-Huarcaya et al. (2012)

Con respecto a las categorías de enfermedades trastornos mentales y del comportamiento o enfermedades neuropsiquiátricas para los años 2004, 2008, 2012 y 2016, categorías que representarían las fuentes principales de afectación a la salud mental, la tabla 2.3. muestra la evolución de sus AVISA a lo largo de esos cuatro años en términos de sus respectivas razones de AVISA y componentes AVP/AVD. De esta información, es explícito que los AVISA que se deberían a la afectación a la salud mental son al menos el 12.56% de los AVISA totales en cada año, es decir, que aquellos AVISA encabezarían la lista de AVISA por categorías de enfermedades en cada año. Asimismo, es explícito que el componente de discapacidad (AVD) de los AVISA que se deberían a la afectación a la salud mental representa al menos el 87.98% de estos AVISA para los años en los que se cuentan con datos (2004, 2012 y 2016), con lo cual quedaría demostrada la capacidad discapacitante de toda enfermedad que afecte a la salud mental.

Tabla 2.3. AVISA y AVD/AVP por salud mental en Perú (2004–2016)

Año base	AVISA salud mental (años)	razón AVISA salud mental (por 1 000 habitantes)	razón AVP salud mental (por 1 000 habitantes)	razón AVD salud mental (por 1 000 habitantes)
2004	826 253	29.97	3.60	26.37
2008	890 081	32.40	sin datos	sin datos
2012	1 010 594	33.50	3.85	29.65
2016	668 114	21.2	0.21	20.99

Elaborado con datos de MINSA (2008, 2014, 2018b) y Valdez-Huarcaya et al. (2012)

Por otro lado, cabe mencionar una comparativa contra la situación de los AVISA y AVD debido a trastornos mentales y de abuso de sustancias en la región América (áreas: Norteamérica, Latinoamérica y el Caribe, Mesoamérica, Sudamérica, Caribe no latino) en el año 2016. Estos AVISA y AVD representaron el 10.5% y 22.0% (12.9% y 23.3%; 8.9% y 20.9%; 8.1% y 19.5%; 9.4% y 21.8%; 7.2% y 19.0%) de los AVISA y AVD totales respectivamente en las áreas previamente indicadas para la región América (Kohn et al., 2018). Por su parte, los AVISA y AVD debido a trastornos mentales y del comportamiento para el Perú en el año 2016 representaron el 12.56% y 21.19% de los AVISA y AVD totales respectivamente en el país (MINSA, 2018b). Entonces, suponiendo una equivalencia entre trastornos mentales y de abuso de sustancias, y trastornos mentales y del comportamiento, el Perú estaría por encima de la media de la afectación a la salud mental en la región América, pero la discapacidad asociada a esta afectación estaría por debajo. En la tabla 2.4., se observan los datos de la comparación.

Tabla 2.4. AVISA y AVD por la salud mental con respecto al AVISA y AVD total por región y Perú

	AVISA salud mental sobre AVISA total	AVD salud mental sobre AVD total
América	10.5%	22.0%
Norteamérica	12.9%	23.3%
Latinoamérica y el Caribe	8.9%	20.9%
Mesoamérica	8.1%	19.5%
Sudamérica	9.4%	21.8%
Caribe no latino	7.2%	19.0%
Perú	12.56%	21.19%

Elaborado con datos de Kohn et al. (2018)

En resumen, los AVISA por categorías de enfermedades registrados en Perú desde el año 2004 están encabezados por los AVISA que se deberían a la afectación a la salud mental (estos representan al menos 12.56% de los AVISA debido a todas las causas en cada año). Asimismo, los AVISA que se deberían a la afectación a la salud mental tienen una carga predominante de discapacidad, porque el componente AVD de aquellos es al menos 87.98% en cada año. Además, al comparar los indicadores para el Perú en el año 2016 contra el promedio del mismo periodo para la región América, los AVISA que se deberían a la afectación a la salud mental con respecto a los AVISA debido a todas las causas en Perú son mayores que el promedio de la región (12.56% contra 10.5%); sin embargo, el componente AVD con respecto al AVD debido a todas las causas es ligeramente menor que el promedio de la región (21.19% contra 22%); por lo tanto, podría afirmarse que el Perú tiene mayor presencia de afectación a la salud mental, pero una ligera menor discapacidad asociada a esta en comparación a la región.

## 2.2. El sistema de salud peruano

### 2.2.1. Según el régimen de financiamiento

El sistema de salud peruano está compuesto por los subsistemas público y privado según Lazo-Gonzales et al. (2016). Estos autores refieren que el sector público se financia a través de los regímenes

contributivos directos (deducciones de salarios) e indirectos (subsidios), mientras que el sector privado, mediante el “gasto de bolsillo” o planes de seguros privados.

Por otra parte, el Decreto Supremo N° 020-2014-SA (2014) dispone la necesidad de las Instituciones Administradoras de Fondos de Aseguramiento en Salud (IAFAS) públicas, privadas o mixtas para el Aseguramiento Universal en Salud (AUS) de toda la población residente del Perú.

Por lo tanto, puede obtenerse una composición del sistema de salud peruano según régimen de financiamiento excluyendo al “gasto de bolsillo” a través de la información centralizada por las IAFAS que operan en dicho sistema.

Según SUSALUD (2020), en el Perú, existen 102 IAFAS (18 públicas y 84 privadas) y la cantidad de asegurados por estas en el periodo 2015-2020 tiene una tendencia ascendente como se muestra en la figura 2.1., lo cual sugiere el esfuerzo del MINSA por impulsar el AUS, es decir, disminuir el “gasto de bolsillo”.

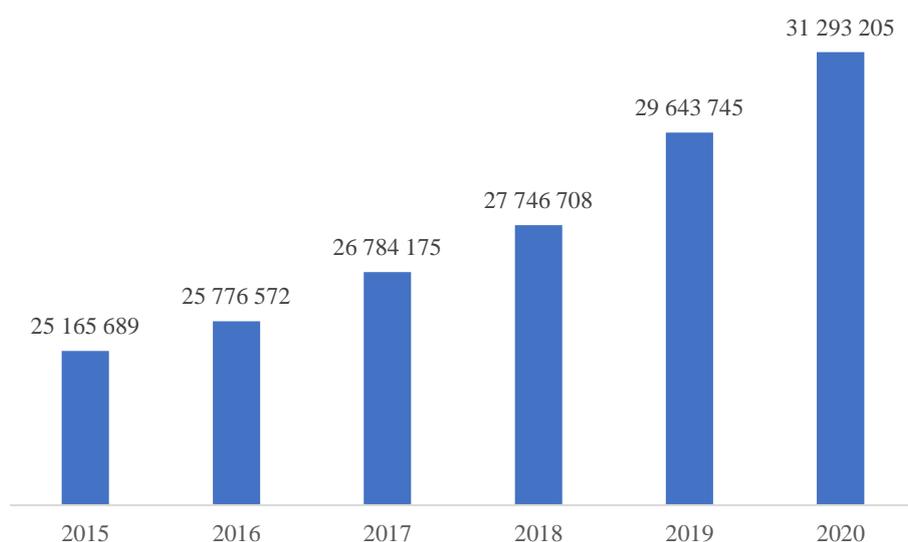


Figura 2.1. Tendencia en personas de Aseguramiento Universal de Salud en Perú (2015-2020)  
Fuente: Elaborado con datos de SUSALUD (2020)

### 2.2.2. Según sus niveles de atención y categorías de establecimientos de salud

Según el MINSA (2011), la oferta de servicios de salud se organiza según la capacidad resolutoria frente a una determinada magnitud y severidad de necesidades de salud de una población.

No obstante, antes de describir los niveles de atención en el sistema de salud peruano y las categorías de establecimientos de salud que las conforman, cabe precisar algunos términos.

La atención ambulatoria es la atención de salud en la cual un usuario, que no está en condición de urgencia o emergencia, acude a un establecimiento de salud para servicios sanitarios que no terminan en internamiento (MINSA, 2011).

El internamiento u hospitalización es la atención de salud en la cual un usuario es ingresado a un establecimiento de salud que puede brindarle soporte asistencial por más de 12 horas; el internamiento se realiza en un establecimiento de salud de categoría I-4 y la hospitalización se realiza en un establecimiento de salud de segundo o tercer nivel de atención en el sistema de salud (MINSa, 2011).

Finalmente, la referencia es el proceso de transferir al usuario que lo requiera desde su comunidad o establecimiento de salud de menor capacidad resolutive a otro de mayor capacidad resolutive; la contrarreferencia se entiende como el proceso inverso a la referencia (MINSa, 2011).

En cuanto al nivel de atención primario (I), este es la puerta de entrada de la población al sistema de salud, ofrece servicios de promoción de salud, prevención de riesgos, diagnóstico precoz y tratamiento oportuno teniendo como eje a la persona, familia y comunidad. Dicho nivel es de baja complejidad y además facilita y coordina el flujo del usuario dentro del sistema a través de referencias y contrarreferencias (MINSa, 2011).

Adicionalmente, el MINSa (2011) categoriza el nivel primario en I-1, I-2, I-3 y I-4. La categoría I-1 está compuesto por establecimientos con profesionales de la salud no médicos-cirujanos; tiene una capacidad resolutive solo ambulatoria que depende de la competencia o capacitación del profesional que brinda el servicio y hace referencias y contrarreferencias (MINSa, 2011). La categoría I-2 está compuesto por establecimientos con médicos-cirujanos (con o sin especialidad); tiene una capacidad resolutive solo ambulatoria que depende de normas técnicas de salud, y hace referencias y contrarreferencias (MINSa, 2011). La categoría I-3 está compuesto por establecimientos con médicos-cirujanos con o sin especialidad y servicios de laboratorio clínico; tiene una capacidad resolutive solo ambulatoria que depende de normas técnicas de salud, y hace referencias y contrarreferencias (MINSa, 2011). Por último, La categoría I-4 está compuesta por establecimientos con médicos-cirujanos con especialidad, médicos-cirujanos sin especialidad capacitados, servicios de laboratorio clínico y farmacia especializada, tiene una capacidad resolutive ambulatoria y con internamiento que depende de normas técnicas adicionales referidas a clínica materna, neonatal y pediátrica (MINSa, 2011).

En cuanto a los niveles secundario (II) y terciario (III), estos ofrecen servicios de atención ambulatoria y hospitalización (internamiento en nivel II o III) generales y especializados respectivamente (MINSa, 2011). El nivel II se subdivide en II-1, II-2 y II-E, mientras que el nivel III se subdivide en III-1, III-E e Institutos Nacionales (MINSa, 2011). Las capacidades resolutivas de tanto en nivel II como del nivel III son intermediarias o finales respectivamente y las referencias y contrarreferencias se aplican en cada nivel de acuerdo con el diagnóstico de un médico-cirujano especializado (MINSa, 2011).

## 2.3. El sistema de salud mental peruano

### 2.3.1. Las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental y la accesibilidad a estas

En primer lugar, según el MINSA (2018a), los problemas de salud mental (PSM) agregan en sí a los problemas psicosociales y a los trastornos mentales; por lo tanto, la población objetivo que debe recibir los servicios de salud mental aumentaría. Asimismo, una de las estrategias fundamentales para acercar los servicios de salud mental a la población es la integración de servicios especializados al nivel primario del sistema de salud (MINSA, 2018a).

Sin embargo, según los estudios epidemiológicos de salud mental 2004-2012 del Instituto Nacional de Salud Mental, la brecha de accesibilidad a los servicios de salud mental (proporción de población con PSM que no tuvo acceso a estos servicios) fue 84.86% aproximadamente, cifra que es mayor al promedio estimado para América Latina y El Caribe, 75.45% aproximadamente (MINSA, 2018a). Cabe resaltar que esta brecha de accesibilidad no solo representa un problema de salud pública sino además un problema para la economía nacional por la disminución en la productividad personal y por el aumento en el gasto de salud mental (MINSA, 2018a). En la figura 2.7. se muestra la brecha de accesibilidad a servicios de salud mental entre los años 2004-2012.

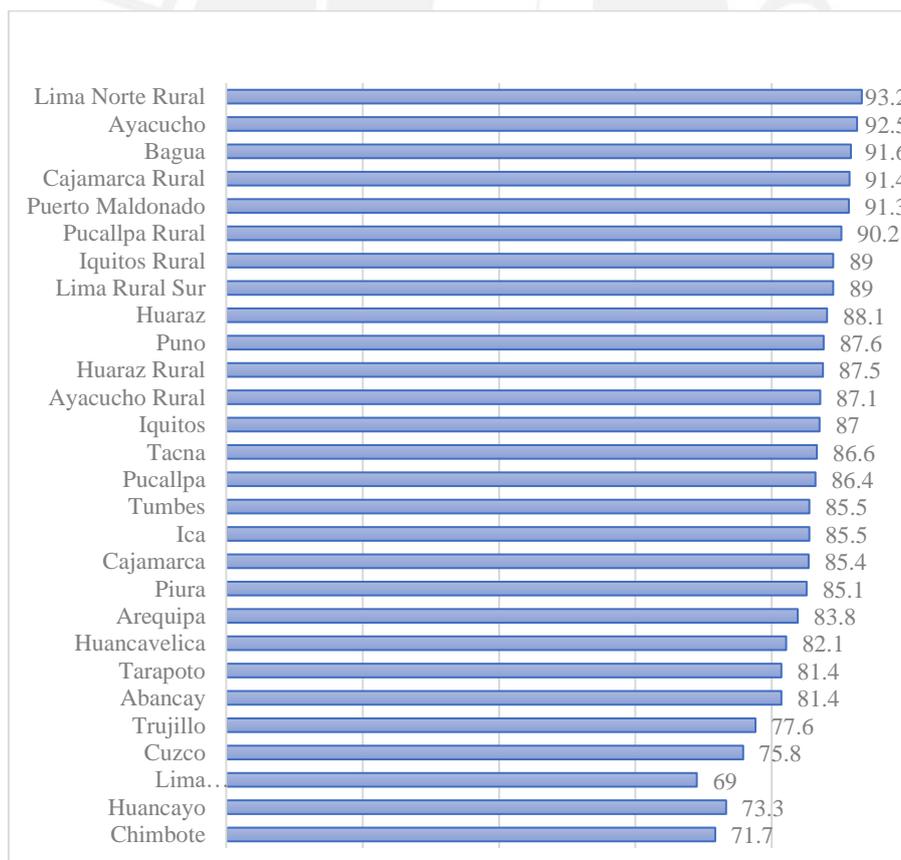


Figura 2.2. Brecha de accesibilidad a la atención de salud mental en Perú (2004-2012)

Fuente: Elaborado con datos de MINSA (2018a)

Ante estas problemáticas de accesibilidad a la atención a la salud mental y la probable disminución de la productividad, el Estado peruano impulsa una reforma de la atención a la salud mental hacia un modelo de atención comunitario. Este modelo debe priorizar la atención ambulatoria dentro del entorno familiar, comunitario y social por sobre el internamiento, el cual debe ser un recurso terapéutico de carácter excepcional (Ley N° 29889, 2012).

Por su parte, el MINSA (2018a) propone fortalecer la atención a la salud mental implementando las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental las cuales según el Decreto Supremo N° 033-2015-SA (2015) están compuestas por un conjunto de establecimientos de salud sin internamiento, establecimientos con internamiento y servicios médicos de apoyo. En particular, en estas tesis dichas redes son sinónimo del conjunto de establecimientos de salud mental con distintos niveles de servicio bajo el modelo comunitario de atención a la salud mental de la subsección 1.1.4.

El conjunto de establecimientos de salud sin internamiento en las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental está compuesto, primero, por el establecimiento de salud de primer nivel de atención, no especializado y con servicios de atención a la salud mental; y, segundo, por el Centro de Salud Mental Comunitario (CSMC) (Decreto Supremo N° 033-2015-SA, 2015).

Con respecto al establecimiento de salud de primer nivel de atención, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, el Decreto Supremo N° 033-2015-SA (2015) refiere que es un establecimiento de salud de categoría I-1 o I-2 que cuenta con equipos básicos de salud capacitados en salud mental, o un establecimiento de salud de categoría I-3 o I-4 que cuenta con psicólogos.

Con respecto al CSMC, el Decreto Supremo N° 033-2015-SA (2015) indica que es un establecimiento de salud de categoría I-3 o I-4 que cuenta con médicos psiquiatras y servicios especializados en diversas etapas de vida; además, debe realizar atención ambulatoria especializada y fungir de conexión entre los demás establecimientos de salud y servicios médicos de apoyo que conforman las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental.

El conjunto particular de establecimientos de salud con internamiento en las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental está compuesto por establecimientos de salud para hospitalización en los establecimientos de salud de categoría II-2 o mayor de atención general o psiquiátrica (Decreto Supremo N° 033-2015-SA, 2015).

Por otro lado, el conjunto particular de “servicios médicos de apoyo” en las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental, está compuesto por hogares y residencias protegidas, y centros de rehabilitación psicosocial y laboral (Decreto Supremo N° 033-2015-SA, 2015).

Asimismo, la atención a la salud mental se realiza obligatoriamente desde el primer nivel de atención, en el marco de la política de redes integradas de servicios de salud y de acuerdo con el nivel de complejidad (Decreto Supremo N° 033-2015-SA, 2015).

Por último, cabe resaltar la efectividad de la implementación de CSMC en el nivel primario del sistema de salud peruano. Así, las redes que no cuentan con CSMC crecen solo 20% en atenciones a trastornos mentales, mientras que las redes que sí cuentan con CSMC, 159% (MINSA, 2018a). En la figura 2.1., se muestra esta tendencia.

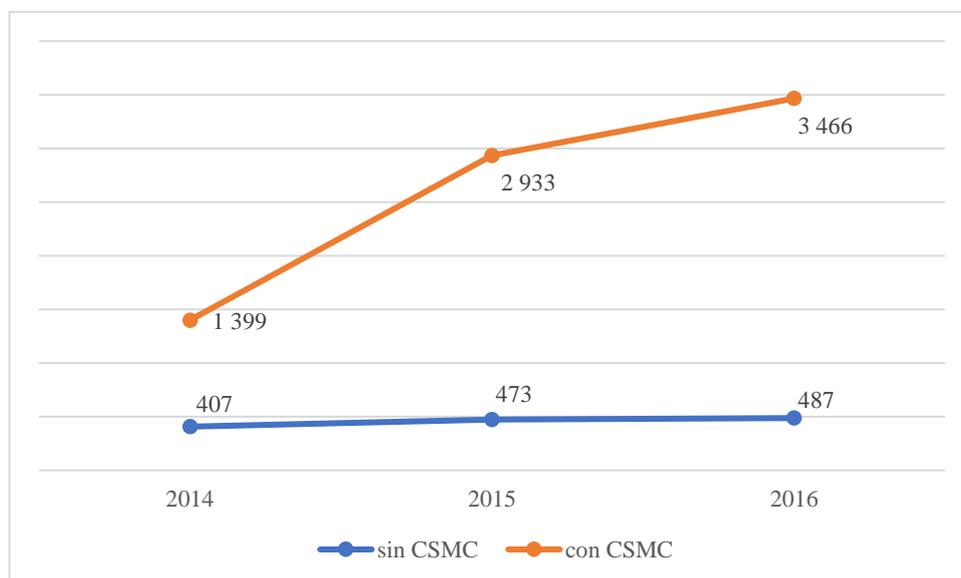


Figura 2.3. Tendencia de atenciones de salud mental con y sin CSMC en Perú (2014-2016)  
Fuente: MINSA (2018a)

### 2.3.2. Sistema de salud mental y problemas de salud mental en la DIRIS Lima Sur

En concordancia con el proceso de descentralización como política del Estado peruano, los 25 Gobiernos Regionales adquirieron la administración de los servicios estatales de salud de sus jurisdicciones y cada uno de dichos Gobiernos organizó su Dirección Regional de Salud (DIRESA) (Lazo-Gonzales et al., 2016).

La administración regional descrita ocasiona que las DIRESA tengan características demográficas y operativas particulares. Por ejemplo, la DIRESA Lima está dividida además en cuatro Direcciones de Redes Integradas de Salud (DIRIS): Lima Norte, Lima Centro, Lima Este y Lima Sur, cada cual con una jurisdicción territorial definida.

Según el MINSA (2018c), la DIRIS Lima Sur está compuesta por 13 distritos: Barranco, Chorrillos, Lurín, Pachacamac, Pucusana, Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo, San Juan de Miraflores, Santa María del Mar, Santiago de Surco, Villa el Salvador, Villa María del Triunfo. Asimismo, tiene una superficie territorial de 891.03 km<sup>2</sup> y al 2017 contaba con 117 establecimientos de salud del primer nivel. La tabla 2.5. muestra la información resumida sobre dichos establecimientos de salud al año 2017 según sus categorías.

Tabla 2.5. Cantidad de establecimientos de salud en la DIRIS Lima Sur según categoría (2017)

Categoría	Detalle	Cantidad
I-1	Posta de salud sin médicos	2
I-2	Posta de salud con al menos un médico	78
I-3	Centro de salud sin internamiento	24
I-4	Centro de salud con internamiento	13

Elaborado con datos de MINSA (2018c)

Sin embargo, según el MINSA (s.f.), la DIRIS Lima Sur agregó diez CSMC a su jurisdicción. De estos diez CSMC adicionales, se constata con la información del MINSA (2018c) sobre la cantidad y categorías de los 117 establecimientos de salud al año 2017, que uno de los diez CSMC adicionales se implementó en un establecimiento de salud de aquellos 117 ya existentes. Por lo tanto, la DIRIS Lima Sur estaría conformado por los 126 establecimientos de salud del primer nivel.

Por otro lado, según Piazza y Fiestas (2014), la prevalencia de uno o más trastornos mentales en el Perú el periodo 2005 fue 13.5% (severidad leve, 5.6%; moderada, 5.6%; y severa, 2.3%). Por lo tanto, podrían estimarse, a partir de las 2 331 806 personas asignadas a la DIRIS Lima Sur según el MINSA (2018c), 314 794 personas con PSM (severidad leve, 130 581; moderada, 130 581 y severa, 53 632). Al respecto, Kohn et al. (2018) muestran para el continente americano las prevalencias anuales promedio de al menos un trastorno mental para la región: América, 17.8% (severidad leve, 6.6%; moderada, 6.3% y severa, 4.9%); Norteamérica, 22.5% (9.4%, 7.9% y 5.1%); Latinoamérica, 16.5% (5.8%, 5.8% y 4.8%); Mesoamérica, 9.7% (4.5%, 2.3% y 2.9%); y Sudamérica, 19.2% (6.4%, 7.2% y 5.6%). Cabe notar que ninguno de estos datos se basa en el mismo periodo de análisis; sin embargo, podrían indicar que Perú estaría por debajo del promedio de prevalencia de al menos un trastorno mental en los países de la región América (13.5% contra 17.8%).

En resumen, los AVISA que se deberían a la afectación a la salud mental en el Perú domina la lista de AVISA por categorías de enfermedad en todos los estudios sobre la carga de enfermedad en la población peruana con base en los años 2004, 2008, 2012 y 2016. Estas enfermedades que afectarían a la salud mental se caracterizan por su carácter discapacitante; por reducir la capacidad productiva de las personas afectadas y por suponer un gasto mayor destinado a la salud mental para el Estado. En este sentido, el Estado propone enfrentar los problemas de salud mental con una política de atención comunitaria que requiere ser accesible a las personas afectadas y que esté integrada al nivel primario del sistema de salud a través de las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental. Asimismo, la situación del Perú con respecto a la región América está por debajo del promedio de afectación a la salud mental en términos de AVD y prevalencia, pero por encima en términos de AVISA que se deberían a la afectación a la salud mental; por lo tanto, aparentemente en Perú, los problemas de salud mental tienen mayor duración en cada habitante afectado, pero menor discapacidad asociada y menor cantidad de casos.

Por último, en esta tesis, dos razones justifican resolver el modelo de optimización que se propone en el capítulo 4 con solo datos de la DIRIS Lima Sur. Primero, la información sobre la DIRIS Lima Sur es la

más accesible y completa que pudo hallarse. Segundo, si bien el modelo de optimización se puede generalizar a cualquier contexto asumiendo Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental de iguales características, su solución requeriría mayor computación o el diseño e implementación de algún algoritmo heurístico, porque si el espacio de soluciones para evaluar crece, entonces la probabilidad de encontrar la mejor solución de todas en un tiempo prudente disminuye considerablemente.



## **CAPÍTULO 3. DESARROLLO DEL MODELO DE OPTIMIZACIÓN PROPUESTO**

### **3.1. El problema de localización de instalaciones médicas identificado**

El Perú tiene como política de salud pública combatir los problemas de salud mental (PSM) a través de la implementación de las Redes de Atención Comunitaria a la Salud Mental (RACSM). Estas redes residen en el nivel de atención primario de salud y priorizan el tratamiento ambulatorio próximo a la comunidad; sin embargo, reconocen que existen casos en los que el internamiento por severidad o condición de desamparo es una necesidad para rehabilitar a los pacientes con PSM más vulnerables.

En este sentido, se formula un modelo de localización-asignación jerárquico de establecimientos de salud con cuatro distintos niveles de servicio y capacidades ilimitadas para mejorar la accesibilidad a las RACSM (en adelante, modelo de optimización propuesto).

### **3.2. Asunciones del modelo de optimización propuesto**

La accesibilidad a una Red de Atención Comunitaria a la Salud Mental (RACSM) equivale al producto entre la magnitud de un flujo de pacientes con PSM y la distancia que este recorre hacia un establecimiento de salud (recorrido ponderado).

Los centros de demanda coinciden en localización geográfica y cantidad estimada de pacientes con PSM con los establecimientos de salud de la RACSM. Cabe notar que la localización es estática a lo largo del tiempo, y la cantidad estimada es anual y se considera proporcional a cualquier periodo.

Los establecimientos de salud de la RACSM ofrecen cuatro niveles de servicios que se ofrecen en cuatro tipos de establecimientos. Los niveles de servicios son (1) la atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM; (2) la atención ambulatoria de pacientes con PSM moderados y severos; (3) el internamiento de pacientes con PSM severos sin condición de desamparo; y (4) el internamiento de pacientes con PSM severos con condición de desamparo. Los cuatro tipos de establecimientos son (1) el establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental; (2) el Centro de Salud Mental Comunitario (CSMC); (3) la unidad de hospitalización de salud mental y adicciones; (4) el hogar protegido.

El primer acceso a la RACSM ocurre en el tipo de establecimiento (1) (establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental), y en el tipo de establecimiento (2) (CSMC). Ambos tipos de establecimiento ofrecen atención solo ambulatoria; sin embargo, el primero atiende solo a pacientes con PSM leves y envía a los demás al CSMC más cercano luego de diagnosticarlos como moderados o severos; mientras que el segundo atiende a todo paciente con PSM y envía a aquellos con PSM severos hacia algún establecimiento con internamiento. Es decir, el nivel de servicio (1) ocurre en los tipos de establecimientos (1) y (2); mientras que el nivel de servicio

(2), solo en el tipo de establecimiento (2). Asimismo, los porcentajes de referencias hacia cualquiera de los dos tipos de establecimientos están determinados.

El internamiento en la RACSM ocurre en el tipo de establecimiento (3) (la unidad de hospitalización de salud mental y adicciones), y en el tipo de establecimiento (4) (hogar protegido). El primero atiende a pacientes con PSM severos en condición de no desamparo enviados desde un CSMC; mientras que el segundo atiende a pacientes con PSM severos en condición de desamparo también enviados desde un CSMC. Es decir, el nivel de servicio (3) ocurre solo en el tipo de establecimiento (3); mientras que el nivel de servicio (4), solo en el tipo de establecimiento (4). Asimismo, se asume que el determinante de la condición de desamparo es la pobreza extrema. Además, los porcentajes de referencias hacia cualquiera de los dos tipos de establecimientos están determinados.

Las capacidades disponibles en los establecimientos de la RACSM son ilimitadas, es decir, cada uno de estos satisface completamente la demanda que se le asigne. En este sentido, la noción de escasez de recursos se refleja implícitamente solo en la cantidad de establecimientos de salud a abrir.

Por último, se presenta la figura 3.1. que diagrama el modelo de optimización propuesto. En este, se muestran los siguientes niveles de servicio: (0) el nivel de los centros de demanda, el cual representa el origen de todo flujo de pacientes con PSM; (1) el nivel de atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM de todo paciente con PSM; (2), atención ambulatoria de pacientes con PSM moderados y severos; (3), internamiento de pacientes con PSM severos sin condición de desamparo; y (4), internamiento de pacientes con PSM severos con condición de desamparo. La relación entre estos niveles de servicio (1)-(4) y los tipos de establecimientos de salud se describió en la sección 3.2. Además, se muestran los flujos de pacientes de primer acceso a la RACSM ( $X_{ij}^1$ ) y los flujos de referencia (envío) de pacientes a través del resto de la RACSM ( $X_{jk}^2, X_{jk}^3, X_{jk}^4$ ). Estos flujos se explican con mayor detalle en la sección subsiguiente junto a los demás elementos de la formulación del modelo de optimización propuesto.

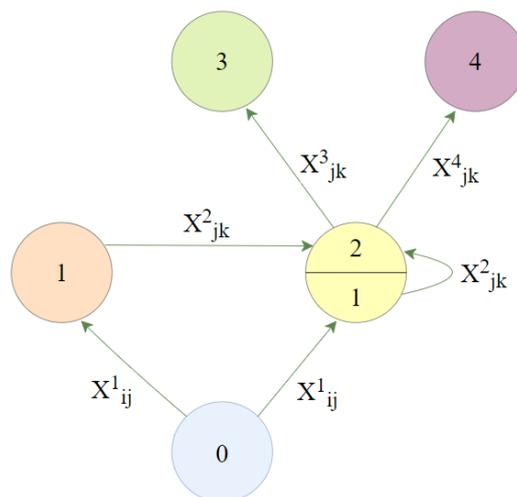


Figura 3.1. Diagrama del modelo de localización-asignación jerárquico con cuatro niveles de servicio

### 3.3. Formulación del modelo de optimización propuesto

En esta sección, se presenta la formulación del modelo de optimización propuesto bajo los supuestos presentados anteriormente. Es necesario mencionar además que la formulación propuesta se basa en gran medida en Galvão et al. (2002).

#### 3.3.1. Conjuntos e índices

Son los siguientes:

$$I = \{1, 2, \dots, n_{CD}\}, i \in I$$

$$J = \{1, 2, \dots, n_{ESR}\}, j, k \in J$$

#### 3.3.2. Parámetros

$d_i$ : cantidad de pacientes con PSM en el centro de demanda  $i \in I$

$c_{ij}$ : distancia entre el centro de demanda  $i \in I$  y la ubicación  $j \in J$ .

$c_{jk}$ : distancia entre las ubicaciones  $j \in J$  y  $k \in J$ .

$\alpha$ : porcentaje de referencia de pacientes con PSM moderados y severos desde un establecimiento de salud de atención ambulatoria a la salud mental (sea un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, o sea un CSMC) hacia un CSMC.

$\beta$ : porcentaje de referencia de pacientes con PSM severos sin condición de desamparo desde un CSMC hacia una unidad de hospitalización de salud mental y adicciones.

$\theta$ : porcentaje de referencia de pacientes con PSM severos con condición de desamparo desde un CSMC hacia un hogar protegido.

$p^1$ : cantidad de establecimientos de salud de primer nivel, no especializados y con servicios a la salud mental que se van a localizar.

$p^2$ : cantidad de CSMC que se van a localizar.

$p^3$ : cantidad de unidades de hospitalización de salud mental y adicciones que se van a localizar.

$p^4$ : cantidad de hogares protegidos que se van a localizar.

$M$ : número muy grande, empleado para activar o desactivar restricciones condicionales en programación entera. Además, para el modelo de optimización, representan las capacidades ilimitadas en todos los establecimientos de salud de las RACSM.

$n_{CD}$ : cantidad de centros de demanda que se van a asignar a la RACSM.

$n_{ESR}$ : cantidad de localizaciones potenciales de los establecimientos de salud de la RACSM que se van a localizar.

### 3.3.3. Variables

$X_{ij}^1$ : flujo de pacientes con PSM desde un centro de demanda ubicado en  $i \in I$  hacia un establecimiento de salud de atención ambulatoria a la salud mental (sea un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, o un CSMC) ubicado en  $j \in J$ .

$X_{jk}^2$ : flujo de pacientes con PSM moderados y severos desde un establecimiento de salud de atención ambulatoria a la salud mental (sea un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, o un CSMC) ubicado en  $j \in J$  hacia un CSMC ubicado en  $k \in J$ .

$X_{jk}^3$ : flujo de pacientes con PSM severos sin condición de desamparo desde un CSMC ubicado en  $j \in J$  hacia una unidad de hospitalización de salud mental y adicciones ubicada en  $k \in J$ .

$X_{jk}^4$ : flujo de pacientes con PSM severos con condición de desamparo desde un CSMC ubicado en  $j \in J$  hacia un hogar protegido ubicado en  $k \in J$ .

$Y_j^1$ : decisión de localizar (igual a 1) o no (igual a 0) un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental en la ubicación  $j \in J$ .

$Y_j^2$ : decisión de localizar (igual a 1) o no (igual a 0) un CSMC en la ubicación  $j \in J$ .

$Y_j^3$ : decisión de localizar (igual a 1) o no (igual a 0) una unidad de hospitalización de salud mental y adicciones en la ubicación  $j \in J$ .

$Y_j^4$ : decisión de localizar (igual a 1) o no (igual a 0) un hogar protegido en la ubicación  $j \in J$ .

### 3.3.4. Modelo de optimización propuesto

El modelo de programación entera binaria es el siguiente:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij}^1 c_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in J} X_{jk}^2 c_{jk} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in J} X_{jk}^3 c_{jk} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in J} X_{jk}^4 c_{jk} \quad (1)$$

$$\sum_{j \in J} X_{ij}^1 = d_i \quad \forall i \in I \quad (2)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^2 = \alpha \sum_{i \in I} X_{ij}^1 \quad \forall j \in J \quad (3)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^3 = \beta \sum_{k \in J} X_{kj}^2 \quad \forall j \in J \quad (4)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^4 = \theta \sum_{k \in J} X_{kj}^2 \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij}^1 \leq M(Y_j^1 + Y_j^2) \quad \forall j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{k \in J} X_{kj}^2 \leq MY_j^2 \quad \forall j \in J \quad (7)$$

$$\sum_{k \in J} X_{kj}^3 \leq MY_j^3 \quad \forall j \in J \quad (8)$$

$$\sum_{k \in J} X_{kj}^4 \leq MY_j^4 \quad \forall j \in J \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j^1 = p^1 \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j^2 = p^2 \quad (11)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j^3 = p^3 \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} Y_j^4 = p^4 \quad (13)$$

$$X_{ij}^1, X_{jk}^2, X_{jk}^3, X_{jk}^4 = \{\text{enteros positivos o cero}\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in J \quad (14)$$

$$Y_j^1, Y_j^2, Y_j^3, Y_j^4 = \{0,1\} \quad \forall j \in J \quad (15)$$

Función objetivo (1):

Minimiza las distancias recorridas multiplicadas por la cantidad de pacientes que fluyen a través de la RACSM. Esto es, maximiza la accesibilidad al RACSM.

Restricciones (2):

Aseguran que todos los pacientes con PSM en un centro de demanda estén completamente satisfechos por algún o algunos establecimientos de salud de atención ambulatoria a la salud mental (sean establecimientos de salud de primer nivel, no especializados y con servicios de atención a la salud mental, o CSMC).

Restricciones (3):

Aseguran que los pacientes con PSM moderados y severos atendidos ambulatoriamente (un porcentaje  $\alpha$  del total de los pacientes con PSM atendidos ambulatoriamente) en todo establecimiento de salud de atención ambulatoria a la salud mental (sea un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, o un CSMC) estén completamente satisfechos por algún o algunos CSMC.

Restricciones (4):

Aseguran que los pacientes con PSM severos sin condición de desamparo atendidos ambulatoriamente (un porcentaje  $\beta$  de los pacientes con PSM atendidos ambulatoriamente) en todo CSMC estén completamente satisfechos por alguna o algunas unidades de hospitalización de salud mental y adicciones.

Restricciones (5):

Aseguran que los pacientes con PSM severos con condición de desamparo atendidos ambulatoriamente (un porcentaje  $\theta$  de los pacientes con PSM atendidos ambulatoriamente) en todo CSMC estén completamente satisfechos por algún o algunos hogares protegidos.

Restricciones (6):

Aseguran que la atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM se brinde en algún establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental o en algún CSMC. Adicionalmente, para ejemplificar estas restricciones, supónganse los siguientes escenarios:

- Si en  $j^*$  se localiza solo un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental ( $Y_{j^*}^1 = 1, Y_{j^*}^2 = 0$ ), entonces existen dos alternativas sobre los flujos de pacientes con PSM asignados a aquel establecimiento. Primera, los flujos de pacientes con PSM que se dirigen hacia  $j^*$  desde todos los centros de demanda existen ( $\sum_{i \in I} X_{ij^*}^1 > 0$ ) y su atención es posible, porque todo establecimiento del tipo mencionado cuenta con capacidad de atención suficiente ( $M$ , número muy grande). Segunda, aquellos flujos de pacientes con PSM que se dirigen hacia  $j^*$  desde todos los centros de demanda no existen ( $\sum_{i \in I} X_{ij^*}^1 = 0$ ) y, a pesar de esto, existe un establecimiento del tipo mencionado disponible en  $j^*$ . Sin embargo, se presume que esta segunda alternativa generaría el “consumo inútil” de uno de los establecimientos del tipo mencionado que se requieren localizar en la RACSM, porque quedarían  $p^1 - 1$  de estos establecimientos (vea el conjunto de restricciones (9)) que deberán seguir cumpliendo las restricciones de satisfacción de la demanda (2)-(5) y además intuitivamente a menor cantidad de establecimientos, mayor será la

distancia recorrida por la demanda para acceder al servicio requerido. Por lo tanto, la función objetivo (1) evitaría esta segunda alternativa.

- Si en  $j^*$  se localiza solo un CSMC ( $Y_{j^*}^1 = 0, Y_{j^*}^2 = 1$ ), entonces la lógica subsiguiente para las dos alternativas sobre los flujos de pacientes con PSM asignados a aquel CSMC es análoga al párrafo anterior.
- Si en  $j^*$  se localiza un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, y además un CSMC ( $Y_{j^*}^1 = 1, Y_{j^*}^2 = 1$ ), entonces la lógica subsiguiente para las dos alternativas sobre los flujos de pacientes con PSM asignados a aquel establecimiento de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, y para las dos alternativas sobre los flujos de pacientes con PSM asignados a aquel CSMC es análoga a los dos párrafos anteriores en conjunto. Sin embargo, cabe resaltar que en esta situación ( $Y_{j^*}^1 = 1, Y_{j^*}^2 = 1$ ), cuando los flujos de pacientes con PSM que se dirigen hacia  $j^*$  desde todos los centros de demanda existen ( $\sum_{i \in I} X_{ij^*}^1 > 0$ ), entonces no es posible determinar para ningún  $X_{ij^*}^1 > 0$  hacia cuál de aquellos dos tipos de establecimientos se está dirigiendo para recibir la atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM.
- Por último, si en  $j^*$  no se localiza ningún establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental, ni tampoco ningún CSMC ( $Y_{j^*}^1 = 0, Y_{j^*}^2 = 0$ ), entonces no existen flujos de pacientes con PSM asignados a  $j^*$  ( $\sum_{i \in I} X_{ij^*}^1 = 0$ ).

Restricciones (7):

Aseguran que la atención ambulatoria de pacientes con PSM moderados y severos referidos desde la atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM se brinde en algún CSMC. Adicionalmente, para ejemplificar estas restricciones, supónganse los siguientes escenarios:

- Si en  $j^*$  se localiza un CSMC ( $Y_{j^*}^2 = 1$ ), entonces existen dos alternativas sobre los flujos de pacientes con PSM moderados y severos referidos desde sus primeros accesos a la RACSM asignados a aquel CSMC. Primera, estos flujos existen ( $\sum_{k \in J} X_{kj^*}^2 > 0$ ) y su atención es posible porque todo CSMC cuenta con la capacidad de atención suficiente ( $M$ , número muy grande). Segunda, aquellos flujos no existen ( $\sum_{k \in J} X_{kj^*}^2 = 0$ ). Sin embargo, esta última alternativa genera el “consumo inútil” de uno de los centros de apoyo disponible y, por lo tanto, la función objetivo impide este caso.

- Si en  $j^*$  no se localiza ningún CSCM ( $Y_{j^*}^2 = 0$ ), entonces no existen flujos de pacientes con PSM moderados y severos referidos desde sus primeros accesos a la RACSM asignados a  $j^*$  ( $\sum_{k \in J} X_{kj^*}^2 = 0$ ).

Restricciones (8):

Aseguran que el internamiento de pacientes con PSM severos sin condición de desamparo referidos desde los CSCM se brinde en alguna unidad de hospitalización de salud mental y adicciones. Adicionalmente, para ejemplificar estas restricciones, supónganse escenarios análogos a aquellos descritos en las restricciones (7).

Restricciones (9):

Aseguran que el internamiento de pacientes con PSM severos con condición de desamparo referidos desde los CSCM se brinde en algún hogar protegido. Adicionalmente, para ejemplificar estas restricciones, supónganse escenarios análogos a aquellos descritos en las restricciones (8).

Restricciones (10)-(13):

Aseguran que las cantidades  $p^1$  de establecimientos de salud de primer nivel, no especializados y con servicios de atención a la salud mental;  $p^2$  de CSCM;  $p^3$  de unidades de hospitalización de salud mental y adicciones; y  $p^4$  de hogares protegidos que se localizarán en la RACSM sean iguales a las cantidades de establecimientos de salud de cada tipo definidos. Nótese que estas restricciones (10)-(13) modelan las limitaciones económicas para la RACSM en evaluación.

Restricciones (14), (15):

Limitan el dominio de las variables de decisión enteras y binarias.

### **3.4. Datos necesarios y metodología para el modelo de optimización propuesto**

Esta sección presenta los datos del modelo de optimización propuesto para la RACSM en la DIRIS Lima Sur.

#### **3.4.1. Localización y estimación de la cantidad de personas con problemas de salud mental en los centros de demanda**

Se asume que cada centro de demanda está representado por cada uno de los 126 establecimientos de salud en la DIRIS Lima Sur cuyas poblaciones asignadas al 2017 están definidas según el MINSA (2018c).

La cantidad estimada de pacientes con PSM en cada centro de demanda es el resultado del producto de la población asignada en el 2017 a cada establecimiento de salud por el porcentaje de prevalencia de

uno o más trastornos mentales (13.5%). Ambos factores, obtenidos de MINSA (2018c) y Piazza y Fiestas (2014) respectivamente.

En cuanto a la estimación de pacientes con PSM en cada uno de los 10 CSMC adicionales en la DIRIS Lima Sur (estos CSMC no figuran en MINSA (2018c), pero sí en MINSA (s.f.)), se asume que es igual a la estimación máxima de entre los establecimientos de salud del MINSA (2018c) que corresponden a su distrito.

Por lo tanto, se estiman 388 871 pacientes con PSM para las RACSM en la jurisdicción de la DIRIS Lima Sur. En el anexo 1234 (asisdls18), se muestran la categoría, población asignada, estimación de población con PSM y latitud-longitud de cada establecimiento de salud de las RACSM en la jurisdicción de la DIRIS Lima Sur.

### **3.4.2. Matriz de distancias más cortas entre centros de demanda**

Con la información de latitudes-longitudes, se genera una matriz 126x126 tal que cada intersección  $i_{fc}$  entre la fila  $f$  y la columna  $c$  de la matriz es la distancia en kilómetros desde  $f$  hasta  $c$ . Dichas distancias se calculan con el semiverseno. Esta matriz de distancias más cortas entre centros de demanda se muestra en el anexo 1234 (matriz distancias más cortas).

### **3.4.3. Referencias de pacientes con PSM en la RACSM**

Si la prevalencia de al menos un trastorno mental en Perú es 13.5%, entonces las prevalencias de al menos un trastorno mental leve (5.6%), moderado (5.6%) y severo (2.3%) representan respectivamente el 41.48%, 41.48% y 17.04% de aquella prevalencia de 13.5% (Piazza y Fiestas, 2014). Además, si se asume que la atención de PSM moderados y severos se realiza en un CMSC, entonces el parámetro  $\alpha$  es 58.52%, calculado como la prevalencia de pacientes con PSM moderados y severos tomando como base a 13.5%, es decir, 41.48% más 17.04%.

Por otro lado, según el Instituto Nacional de Salud Mental (2018), la población adulta en Lima que realizó algún intento de suicidio (2.8%) es la que puede recibir atención en los servicios de emergencia u hospitalización. Además, si se asume que un intento de suicidio está relacionado únicamente con los PSM severos y que requiere hospitalización, entonces  $\beta$  es 0.82%, calculado como la prevalencia de pacientes con PSM severos de 17.04% tomando como base a 58.52% y que ha intentado cometer suicidio, es decir, 17.04% dividido por 58.52% y multiplicado por 2.8%.

Por último, suponiendo que el índice de pobreza extrema en la DIRIS Lima Sur (0.9%) (MINSA, 2018c) es el único determinante para la condición de desamparo de un paciente con PSM y que solo los PSM severos con condición de desamparo se deben internar en un hogar protegido, entonces  $\theta$  es 0.26%, calculado como la prevalencia de pacientes con PSM severos de 17.04% tomando como base a 58.52% y que están en condición de desamparo, es decir, 17.04% dividido por 58.52% y multiplicado por 0.9%.

#### **3.4.4. Cantidad de establecimientos de salud de la RACSM que se van a localizar**

El MINSA (2018a) menciona explícitamente las cantidades totales de establecimientos CSMC ( $p^2$ ), unidades de hospitalización de salud mental y adicciones ( $p^3$ ), y el hogar protegido ( $p^4$ ) que se deben implementar durante el periodo 2018-2021 en la DIRIS Lima Sur. Estas cantidades son respectivamente diez, uno y diez (MINSA, 2018a).

En cuanto a la cantidad de establecimientos de salud de primer nivel, no especializados y con servicios de atención a la salud mental ( $p^1$ ), esta se podría obtener indirectamente a través de las cantidades totales de establecimientos planificados para el periodo 2018-2021 por el MINSA (2018a) asumiendo una proporcionalidad entre las cantidades totales de establecimientos de diferentes tipos. Así, si estas cantidades para los establecimientos de salud de primer nivel, no especializados y con servicios de atención a la salud mental y para los CSMC son en total 1 124 y 250 respectivamente y además  $p^2$  es diez (MINSA, 2018a), entonces  $p^1$  sería 50.



## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Complejidad y parámetros de parada del proceso de búsqueda de soluciones al modelo de optimización

En primer lugar, el modelo de optimización propuesto en la subsección 3.3.4. es *NP-Hard*, porque este contiene al problema P-mediana como caso particular (Galvão et al., 2002). Por lo tanto, conseguir la solución óptima global, podría resultar costoso computacionalmente considerando la escala de la aplicación del modelo de optimización formulado sobre la RACSM en la DIRIS Lima Sur. La escala de esta aplicación implica 63 504 variables enteras no negativas (una matriz 126x126 para cada variable  $X_{ij}^1, X_{jk}^2, X_{jk}^3, X_{jk}^4$ ), 504 variables binarias (un vector 126x1 para cada variable  $Y_j^1, Y_j^2, Y_j^3, Y_j^4$ ) y además 1 012 restricciones (126 para cada una de las restricciones (2)-(9); y una para cada restricción (10)-(13)).

Sin embargo, *CPLEX* utiliza el método de solución exacto *Branch & Cut* para problemas enteros. Entonces, deben definirse al menos dos parámetros de parada para obtener la mejor solución factible posible bajo la restricción de computación. Estos dos parámetros son el *relative MIP gap* de parada y el tiempo límite global. El primer parámetro es la variación porcentual entre el mejor objetivo hallado y su mejor cota hallada dividida con respecto al mejor objetivo hallado hasta el instante t del proceso de solución, razón por la cual dicho parámetro se habrá inicializado en 100% solo si existe una solución factible hasta dicho instante t. El segundo parámetro interrumpe el proceso de solución independientemente de la factibilidad de las soluciones evaluadas hasta el instante t en el proceso de solución. Nótese que el parámetro que llegue primero a su valor configurado impone la condición de parada al proceso de solución.

Por último, cabe mencionar que todos los procesos de búsqueda de soluciones al modelo de optimización propuesto en la subsección 3.3.4 y a las modificaciones a este en las secciones siguientes se resuelve con *CPLEX* y tienen definidas las condiciones de parada *relative MIP gap* de parada igual a 0.0001% (valor por defecto) y tiempo límite global igual a diez minutos (valor arbitrario).

### 4.2. Modificaciones de la formulación del modelo de optimización propuesto y sus soluciones

En esta sección, se presenta la modificación (“formulación relajada”) del modelo de optimización propuesto en la subsección 3.3.4. debido a que este es infactible, situación esperada por la cantidad de restricciones de igualdad del modelo. Luego se presenta la modificación (“formulación extendida”) de la formulación relajada debido a que en esta existen “consumos inútiles” de establecimientos de salud y flujos no únicos. Las mejores soluciones halladas para las formulaciones relajada y extendida se muestran en el anexo 1234 (form\_relaj\_X1, form\_relaj\_X2, form\_relaj\_X3, form\_relaj\_X4,

form\_relaj\_Y1234; form\_ext\_X1, form\_ext\_X2, form\_ext\_X3, form\_ext\_X4, form\_ext\_Y1234, form\_ext\_A1, form\_ext\_A2, form\_ext\_A3, form\_ext\_A4). El código OPL se muestra en el anexo código OPL.

#### 4.2.1. Formulación del modelo de optimización propuesto relajado en sus restricciones

(3)-(5)

El proceso de búsqueda de soluciones al modelo de optimización propuesto en la sección 3.3.4. en *CPLEX* no encuentra ninguna solución factible hasta el instante 600.57 segundos. Esto es debido a la importante cantidad de restricciones de igualdad en las familias de restricciones (3)-(5) y además porque buscan encontrar un número entero que sea estrictamente igual al producto de un número entero por un factor no entero (porcentajes de referencia  $\alpha, \beta, \theta$ ).

Por lo tanto, se opta por reemplazar las igualdades en dichas restricciones por las siguientes restricciones con la finalidad de aumentar la probabilidad de existencia de una región factible durante el proceso de búsqueda:

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^2 \geq \alpha \sum_{i \in I} X_{ij}^1 \quad \forall j \in J \quad (3l)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^2 \leq (1 + u^1) * \alpha \sum_{i \in I} X_{ij}^1 \quad \forall j \in J \quad (3u)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^3 \geq \beta \sum_{k \in J} X_{kj}^2 \quad \forall j \in J \quad (4l)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^3 \leq (1 + u^2) * \beta \sum_{k \in J} X_{kj}^2 \quad \forall j \in J \quad (4u)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^4 \geq \theta \sum_{k \in J} X_{kj}^2 \quad \forall j \in J \quad (5l)$$

$$\sum_{k \in J} X_{jk}^4 \leq (1 + l^3) * \theta \sum_{k \in J} X_{kj}^2 \quad \forall j \in J \quad (5u)$$

Donde  $u^1, u^2, u^3$  deben ser cercanos a 0% para emular las igualdades de las restricciones (3), (4), (5) respectivamente. No obstante, dado que la función objetivo (1) es la minimización de la sumatoria de productos entre distancias (constantes) y flujos (variables), entonces los flujos referidos  $X_{jk}^2, X_{jk}^3, X_{jk}^4$  probablemente tiendan (sobre todo en soluciones cercanas al óptimo) a sus cotas inferiores en (3l), (4l), (5l) respectivamente y, por lo tanto, sus cotas superiores (3u), (4u), (5u) puedan obviarse. En adelante, la formulación del modelo de optimización propuesto en la subsección 3.3.4. modificada con las seis restricciones adicionales (3l)-(5u) se denomina formulación relajada.

Así, el proceso de búsqueda de soluciones a la formulación relajada en *CPLEX* se ejecuta n veces iniciando con un número pequeño arbitrario para  $u^1 = u^2 = u^3$  hasta conseguir alguna solución factible. Se prueban los siguientes números secuencialmente y en orden creciente 0.01%, 0.015%, 0.02%, 0.025%, 0.03% y se detienen las ejecuciones en este último, porque solo con este se halla alguna

solución factible a la formulación relajada y está más cercano a 0% que cualquier otro número subsiguiente.

En este sentido, el proceso de búsqueda para el caso 0.03% termina con *relative MIP gap* igual a 85.8% para la mejor solución hallada, tiempo de ejecución total igual a 600.09 segundos y las variables de decisión resueltas mostradas en el anexo 1234 (form\_relaj\_X1, form\_relaj\_X2, form\_relaj\_X3, form\_relaj\_X4, form\_relaj\_Y1234). Mas, cabe recalcar dos características de dicha mejor solución hallada a la formulación relajada.

Primera, tal como se describió en la subsección 3.3.4. para las restricciones (6), si al menos una de las variables de localización  $Y_{j^*}^1, Y_{j^*}^2$  es 1, entonces debería suceder que al menos un flujo  $X_{ij^*}^1$  sea distinto de cero para evitar el “consumo inútil” de un establecimiento localizado en  $j^*$  (una lógica similar aplica para las restricciones (7)-(9)). Sin embargo, en la mejor solución hallada, se observan por ejemplo los siguientes casos:  $Y_{j=1}^1, Y_{j=1}^2$  son 1 y 0 respectivamente, pero  $X_{i,j=1}^1 = 0$ ;  $Y_{j=7}^1, Y_{j=7}^2$  son ambos 1, pero  $X_{i,j=7}^1 = X_{j,k=7}^2 = 0$ ;  $Y_{j=1}^4 = 1$ , pero  $X_{j,k=1}^4 = 0$ ; entre otros similares. Esto hace suponer que probablemente la restricción implícita contra el “consumo inútil” sucede solo en la solución óptima o cercanas a esta.

Segunda, se observan flujos no únicos, es decir, que existe al menos un flujo F asignado desde un origen hacia más de un destino. Por ejemplo, los flujos  $X_{i=31,j=108}^1 = 1389, X_{i=31,j=110}^1 = 331$  representan flujos no únicos desde el centro de demanda 31. Cabe mencionar que, según Galvão et al. (2002), la solución óptima de los modelos de localización-asignación jerárquica de k niveles no permite ningún flujo no único. Por esta razón, la presencia de flujos no únicos en la mejor solución hallada a la formulación relajada (*relative MIP gap*, 85.8%) confirma que esta no es la solución óptima. Asimismo, no sería razonable asignar un grupo de pacientes con PSM en una misma ubicación hacia dos (o más) establecimientos de salud en distintas localizaciones suponiendo que no hay restricciones de capacidad de atención en ningún establecimiento.

Por lo tanto, es favorable definir nuevas variables y restricciones que impidan el “consumo inútil” de establecimientos de salud y la existencia de flujos no únicos. En la siguiente sección, se muestran estas modificaciones sobre la formulación relajada.

#### **4.2.2. Formulación relajada sin “consumo inútil” de establecimientos de salud, ni flujos no únicos**

Para restringir explícitamente el “consumo inútil” de establecimientos de salud en la mejor solución a la formulación relajada, se deben agregar las siguientes restricciones complementarias a (6)-(9) en la formulación presentada en la subsección 3.3.4.:

$$\sum_{i \in I} X_{ij}^1 \geq Y_j^1 \quad \forall j \in J \quad (6a)$$

$$\sum_{i \in I} X_{ij}^1 \geq Y_j^2 \quad \forall j \in J \quad (6b)$$

$$\sum_{k \in J} X_{kj}^2 \geq Y_j^2 \quad \forall j \in J \quad (7a)$$

$$\sum_{k \in J} X_{kj}^3 \geq Y_j^3 \quad \forall j \in J \quad (8a)$$

$$\sum_{k \in J} X_{kj}^4 \geq Y_j^4 \quad \forall j \in J \quad (9a)$$

Restricciones (6a), (6b):

Para describir las restricciones complementarias (6a), (6b) a (6), basta con construir la tabla de verdad de las restricciones (6) (tabla 4.1.) y verificar cuáles son los escenarios con “consumos inútiles” de establecimientos al localizar un establecimiento en  $j$  y no asignarle ningún flujo. Esto se observa en la tabla 4.1, donde, para  $\sum_{i \in I} X_{ij}^1$ , 1 (o verdadero) representa  $\sum_{i \in I} X_{ij}^1 > 0$ , y 0 (o falso) representa  $\sum_{i \in I} X_{ij}^1 = 0$ ; para  $M(Y_j^1)$ , 1 (o verdadero) representa  $Y_j^1 = 1$ , y 0 (o falso) representa  $Y_j^1 = 0$ ; para  $M(Y_j^2)$  similarmente. Luego, (6a) y (6b) en conjunto restringen dichos “consumos inútiles” en (6), porque hacen falsos todos los casos en que  $\sum_{i \in I} X_{ij}^1$  es 0 excepto cuando  $Y_j^1, Y_j^2$  son ambos 0 a la vez.

Tabla 4.1. Tabla de verdad para verificar "consumos inútiles" de establecimientos de salud

$\sum_{i \in I} X_{ij}^1$	$\leq$	$M(Y_j^1)$	$+$	$M(Y_j^2)$	V/F	Deseable
1		1		1	V	Sí
1		1		0	V	Sí
1		0		1	V	Sí
1		0		0	F	No
0		1		1	V	No
0		1		0	V	No
0		0		1	V	No
0		0		0	V	Sí

Las restricciones complementarias a (7)-(9) siguen una lógica similar al párrafo anterior.

Con respecto a la restricción de flujos no únicos, se requiere añadir las siguientes variables de decisión binarias y restricciones a la formulación relajada sin “consumos inútiles”:

$A_{ij}^1$ : Es 1 si se asigna un centro de demanda ubicado en  $i \in I$  a un establecimiento de salud de atención ambulatoria a la salud mental ubicado en  $j \in J$ . Es 0 en caso contrario.

$A_{jk}^2$ : Es 1 si se asigna un establecimiento de salud de atención ambulatoria a la salud mental ubicado en  $j \in J$  a un CSMC ubicado en  $k \in J$ . Es 0 en caso contrario.

$A_{jk}^3$ : Es 1 si se asigna un CSMC ubicado en  $j \in J$  a una unidad de hospitalización de salud mental y adicciones ubicada en  $k \in J$ . Es 0 en caso contrario.

$A_{jk}^4$ : Es 1 si se asigna un CSMC ubicado en  $j \in J$  a un hogar protegido ubicado en  $k \in J$ . Es 0 en caso contrario.

$$\sum_{j \in J} A_{ij}^1 \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (16)$$

$$X_{ij}^1 \leq M(A_{ij}^1) \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (17)$$

$$X_{ij}^1 \geq A_{ij}^1 \quad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (18)$$

$$\sum_{k \in J} A_{jk}^2 \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (19)$$

$$X_{jk}^2 \leq M(A_{jk}^2) \quad \forall j \in J, \forall k \in J \quad (20)$$

$$X_{jk}^2 \geq A_{jk}^2 \quad \forall j \in J, \forall k \in J \quad (21)$$

$$\sum_{k \in J} A_{jk}^3 \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (22)$$

$$X_{jk}^3 \leq M(A_{jk}^3) \quad \forall j \in J, \forall k \in J \quad (23)$$

$$X_{jk}^3 \geq A_{jk}^3 \quad \forall j \in J, \forall k \in J \quad (24)$$

$$\sum_{k \in J} A_{jk}^4 \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (25)$$

$$X_{jk}^4 \leq M(A_{jk}^4) \quad \forall j \in J, \forall k \in J \quad (26)$$

$$X_{jk}^4 \geq A_{jk}^4 \quad \forall j \in J, \forall k \in J \quad (27)$$

$$A_{ij}^1, A_{jk}^2, A_{jk}^3, A_{jk}^4 = \{0,1\} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in J \quad (28)$$

Restricciones (16):

Aseguran que todo centro de demanda ubicado en  $i \in I$  esté asignado como máximo a un establecimiento de atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM (sea un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental o un CSMC).

Las restricciones (19), (22), (25) son similares a estas restricciones (16).

Restricciones (17), (18):

En conjunto, aseguran que  $X_{ij}^1 > 0$  si y solo si  $A_{ij}^1 = 1$ , y a la vez que  $X_{ij}^1 = 0$  si y solo si  $A_{ij}^1 = 0$ . Cabe resaltar que la lógica de estas restricciones es similar a aquella detallada anteriormente para las restricciones complementarias (6a), (6b) a (6).

Las restricciones (20), (21); (23), (24); (26), (27) son similares a las restricciones (17), (18).

Restricciones (28):

Restringen el dominio de las variables de decisión binarias.

Así, el proceso de búsqueda de soluciones a la formulación relajada sin “consumo inútil” de establecimientos, ni flujos no únicos (en adelante, “formulación extendida”) en *CPLEX* se ejecuta  $n$  veces iniciando con un número pequeño arbitrario para  $u^1 = u^2 = u^3$  hasta conseguir alguna solución factible. Se prueban los siguientes números secuencialmente y en orden creciente 0.03%, 1%, 5%, 10%, 15%, 20% y se detienen las ejecuciones en este último, porque solo con este se halla alguna solución factible a la formulación relajada y está más cercano a 0% que cualquier otro número subsiguiente.

En este sentido, el proceso de búsqueda para el caso 20% termina con *relative MIP gap* igual a 89.15% para la mejor solución hallada, tiempo de ejecución total igual a 601.2 segundos y las variables de decisión resueltas mostradas en el anexo 1234 (form\_ext\_X1, form\_ext\_X2, form\_ext\_X3, form\_ext\_X4, form\_ext\_Y1234, form\_ext\_A1, form\_ext\_A2, form\_ext\_A3, form\_ext\_A4).

En las siguientes secciones se presentan los resultados y análisis para la formulación extendida, la cual ya no presenta “consumos inútiles” de establecimientos, ni flujos únicos.

### **4.3. Resultados y análisis de la formulación extendida**

#### **4.3.1. Localizaciones, asignaciones y capacidades de atención asociados a la RACSM en la DIRIS Lima Sur**

La localización en  $j^*$  de cada establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental ( $Y_{j^*}^1 = 1$ ), CSMC ( $Y_{j^*}^2 = 1$ ), unidad de hospitalización de salud mental y adicciones ( $Y_{j^*}^3 = 1$ ), y hogar protegido ( $Y_{j^*}^4 = 1$ ) que conforman la RACSM en la DIRIS Lima Sur se muestra en la tabla 4.2. Cabe recordar que, tal como se definió en la sección 3.4.1., se asume que cada centro de demanda en el modelo de optimización está representado por cada uno de los 126 establecimientos de salud en la DIRIS Lima Sur. En este sentido, por ejemplo, el centro de demanda 1 (establecimiento de salud San Carlos en la DIRIS Lima Sur), debería tener un CSMC ( $Y_{j=1}^2 = 1$ ) y un hogar protegido ( $Y_{j=1}^4 = 1$ ) según la mejor solución hallada a la formulación extendida (tabla 4.2).

Tabla 4.2. Localizaciones de establecimientos de salud en la mejor solución a la formulación extendida

Cod	Localización	Y1	Y2	Y3	Y4
1	San Carlos	0	1	0	1
3	Los Viñedos de Surco	1	0	0	0
4	San Roque	1	0	0	0
5	Las Dunas	1	0	0	0
7	Señor de los Milagros	1	0	0	0
8	Valle Sharon	1	0	0	0
9	Las Flores	1	0	0	0
10	Mateo Pumacahua	1	0	0	1
11	Pachacamac	0	1	0	0
15	Llanavilla	0	1	0	1
17	Fernando Luyo Sierra	1	0	0	0
18	Collanac	1	0	0	0
21	Valle Alto	1	0	0	0
24	Módulo Virgen de Lourdes	1	0	0	0
26	Oasis de Villa	1	0	0	0
28	Sagrada Familia	1	0	0	0
36	Vista Alegre de Villa	1	0	0	0
40	Héroes del Pacífico	1	0	0	0
43	Santa Teresa de Chorrillos	1	0	0	0
46	Defensores de Lima	1	0	0	0
48	Paraíso	1	0	0	0
53	Punta Hermosa	1	0	0	0
70	Martha Milagros Baja	0	1	0	0
72	Quebrada Verde	0	1	0	1
80	Santiago de Surco	1	0	0	0
81	San Martín de Porres	1	0	0	0
83	Delicias de Villa	1	0	0	0
84	San Juan de Miraflores	1	0	0	0
85	San Genaro de Villa	1	0	0	0
86	Portada De Manchay	1	0	1	0
87	Villa San Luis	1	0	0	0
88	Trébol Azul	1	0	0	0
89	Pachacamac	0	0	0	1
91	Nueva Esperanza	1	0	0	0
93	Gaudencio Bernasconi	1	0	0	0
94	Julio C Tello	1	0	0	0
97	Villa Alejandro	1	0	0	0
98	Nuevo Lurin Km. 40	1	0	0	0
101	Pucusana	1	0	0	0
102	Benjamín Doig	1	0	0	0
103	Punta Negra	1	0	0	0
105	CSMC Nancy Reyes Bahamonde	1	0	0	0

Tabla 4.2. Localizaciones de establecimientos de salud en la mejor solución a la formulación extendida (continuación)

Cod	Localización	Y1	Y2	Y3	Y4
106	CSMC San Sebastián	1	0	0	0
108	CSMC San Gabriel Alto	0	1	0	1
109	CSMC Monseñor José Ramón Gurruchaga	1	0	0	0
110	CSMC Villa el Salvador	1	0	0	0
111	CSMC Sol de Villa	0	1	0	1
112	CSMC La Medalla Milagrosa	0	1	0	1
113	CSMC Santa Rosa de Manchay	1	0	0	0
114	Villa María del Triunfo	1	0	0	0
115	San José	1	0	0	0
116	César Lopez Silva	1	0	0	0
117	Juan Pablo II	1	0	0	0
118	José Carlos Mariátegui	1	0	0	0
119	Tablada de Lurín	1	0	0	0
120	José Galvez	1	0	0	0
121	Daniel A. Carrión	1	0	0	0
122	Virgen del Carmen	1	0	0	0
123	Manuel Barreto	1	0	0	0
124	Lurín	0	1	0	1
126	Ollantay	0	1	0	1
Totales		50	10	1	10

Comparando la cantidad de localizaciones en las que al menos una variable  $Y_{j^*}^1, Y_{j^*}^2, Y_{j^*}^3, Y_{j^*}^4$  es igual a 1 en la mejor solución hallada a la formulación extendida (61 en total, tabla 4.2) y los 61 primeros centros de demanda con mayor cantidad de población con PSM (según se definió en la subsección 3.4.1.), resulta que 44 de estos centros de demanda están presentes tanto en las localizaciones en las que al menos una variable  $Y_{j^*}^1, Y_{j^*}^2, Y_{j^*}^3, Y_{j^*}^4$  es igual a 1 en la mejor solución hallada a la formulación extendida y los 61 primeros centros de demanda con mayor cantidad de población con PSM. Además, estos 44 centros ordenados de menor a mayor según población con PSM tienen en sus extremos mínimo y máximo a los centros de demanda percentil 53.6% (establecimiento de salud Valle Alto, 2 098 pacientes) y percentil 100% (establecimientos de salud Santiago de Surco, 23 839 pacientes) respectivamente. Por lo tanto, puede afirmarse que la formulación extendida tiende a localizar establecimientos de salud en los centros de demanda con mayor cantidad de población con PSM para reducir los recorridos totales dentro de la RACSM en la DIRIS Lima Sur.

Por otro lado, la asignación entre los resultados de  $X_{ij}^1, X_{jk}^2, X_{jk}^3, X_{jk}^4$  en la mejor solución a la formulación extendida para la DIRIS Lima Sur en el anexo 1234 (form\_ext\_X1, form\_ext\_X2, form\_ext\_X3, form\_ext\_X4) y los establecimientos de salud  $Y_{j^*}^1, Y_{j^*}^2, Y_{j^*}^3, Y_{j^*}^4$  localizados (tabla 4.2.) tiene las siguientes cuatro características, las cuales describen las referencias de pacientes con PSM desde el primer nivel

hasta el internamiento. Primera, cada uno de los 126 centros de demanda en la RACSM es atendido por alguno (solo uno) de los  $p^1 + p^2 = 60$  establecimientos de salud de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM (sea un establecimiento de salud de primer nivel, no especializado y con servicios de atención a la salud mental o un CSMC). Segunda, cada uno de estos 60 establecimientos de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM es atendido por alguno (solo uno) de los  $p^2 = 10$  CSMC. Tercera, cada uno de estos 10 CSMC es atendido por alguna (solo una)  $p^3 = 1$  unidad de hospitalización de salud mental y adicciones. Cuarta, cada uno de aquellos 10 CSMC es atendido por alguno (solo uno)  $p^4 = 10$  hogares protegidos. Cabe mencionar por último que los porcentajes de referencia  $\alpha, \beta, \theta$  resultantes son respectivamente 58.53% (todos los flujos  $X_{jk}^2$  dividido entre todos los flujos  $X_{ij}^1$ , 227 616 entre 388 871), 0.8224% (todos los flujos  $X_{jk}^3$  dividido entre todos los flujos  $X_{jk}^2$ , 1 872 entre 227 616) y 0.2636% (todos los flujos  $X_{jk}^4$  dividido entre todos los flujos  $X_{jk}^2$ , 600 entre 227 616), los cuales son cercanos a aquellos definidos en la subsección 3.4.3., 58.52%, 0.82%, 0.26% respectivamente tal como se estimó para las nuevas restricciones en la formulación relajada (subsección 4.2.1).

Con todos estos resultados, es posible determinar las capacidades anuales (las prevalencias son anuales) requeridas por la RACSM en la DIRIS Lima Sur según la mejor solución hallada a la formulación extendida. Estas se presentan en la tabla 4.3. donde, tal como se definió en la sección 3.2., el nivel de servicio 1 es la atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM; el nivel de servicio 2, la atención ambulatoria de pacientes con PSM moderados y severos; el nivel de servicio 3, el internamiento de pacientes con PSM severos sin condición de desamparo; y el nivel de servicio 4, el internamiento de pacientes con PSM severos con condición de desamparo. Cabe mencionar que los cuatro niveles de servicio mencionados tienen capacidad para atender respectivamente 388 871, 227 616, 1 872 y 600 pacientes con PSM.

Tabla 4.3. Capacidades para cada establecimiento de salud en la mejor solución a la formulación extendida

Cod	Localización	Capacidad nivel de servicio 1	Capacidad nivel de servicio 2	Capacidad nivel de servicio 3	Capacidad nivel de servicio 4
1	San Carlos	14 073	52 110		136
3	Los Viñedos de Surco	6 029			
4	San Roque	7 594			
5	Las Dunas	4 601			
7	Señor de los Milagros	5 909			
8	Valle Sharon	5 521			
9	Las Flores	3 012			
10	Mateo Pumacahua	3 745			15
11	Pachacamac	10 668	19 695		
15	Llanavilla	4 639	38 532		101
17	Fernando Luyo Sierra	4 767			
18	Collanac	6 443			
21	Valle Alto	3 147			
24	Módulo Virgen de Lourdes	2 023			
26	Oasis de Villa	2 814			
28	Sagrada Familia	3 950			
36	Vista Alegre de Villa	1 542			
40	Héroes del Pacífico	5 896			
43	Santa Teresa de Chorrillos	2 599			
46	Defensores de Lima	4 018			
48	Paraíso	3 407			
53	Punta Hermosa	1 060			
70	Martha Milagros Baja	2 491	5 503		
72	Quebrada Verde	1 057	642		2
80	Santiago de Surco	23 839			
81	San Martín de Porres	8 120			
83	Delicias de Villa	5 760			
84	San Juan de Miraflores	5 459			
85	San Genaro de Villa	6 385			
86	Portada De Manchay	6 191		1 872	
87	Villa San Luis	6 852			
88	Trébol Azul	4 464			
89	Pachacamac				52
91	Nueva Esperanza	3 747			
93	Gaudencio Bernasconi	2 520			
94	Julio C Tello	2 276			
97	Villa Alejandro	4 636			
98	Nuevo Lurin Km. 40	1 779			
101	Pucusana	1 258			
102	Benjamín Doig	1 115			
103	Punta Negra	2 401			

Tabla 4.3. Capacidades para cada establecimiento de salud en la mejor solución a la formulación extendida (continuación)

Cod	Localización	Capacidad nivel de servicio 1	Capacidad nivel de servicio 2	Capacidad nivel de servicio 3	Capacidad nivel de servicio 4
105	CSMC Nancy Reyes Bahamonde	6 986			
106	CSMC San Sebastián	7 684			
108	CSMC San Gabriel Alto	17 414	24 416		64
109	CSMC Monseñor José Ramón Gurruchaga	12 961			
110	CSMC Villa el Salvador	10 221			
111	CSMC Sol de Villa	10 221	41 138		107
112	CSMC La Medalla Milagrosa	5 798	13 819		36
113	CSMC Santa Rosa de Manchay	5 180			
114	Villa María del Triunfo	12 362			
115	San José	10 221			
116	César Lopez Silva	9 222			
117	Juan Pablo II	8 205			
118	José Carlos Mariátegui	8 796			
119	Tablada de Lurín	7 867			
120	José Galvez	6 181			
121	Daniel A. Carrión	7 548			
122	Virgen del Carmen	12 869			
123	Manuel Barreto	10 811			
124	Lurín	5 825	7 868		24
126	Ollantay	14 692	23 893		63
	Totales	388 871	227 616	1 872	600

#### 4.3.2. Accesibilidad asociada a la RACSM en la DIRIS Lima Sur

La función objetivo de la formulación extendida es el indicador de accesibilidad a la RACSM según las asunciones del modelo de optimización propuesto en la sección 3.2. Esta accesibilidad es inversamente proporcional al producto entre los flujos de pacientes con PSM que acceden a los servicios de salud mental y la distancia recorrida para acceder a estos servicios; por lo tanto, sus dimensiones son “pacientes \* km”.

En este sentido, la función objetivo de la formulación extendida está conformada por, primero, la accesibilidad a la atención ambulatoria de primer acceso a la RACSM para todo paciente con PSM ( $\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} X_{ij}^1 c_{ij}$ ) igual a 98 728.03 “pacientes \* km”; segundo, la accesibilidad a la atención ambulatoria para pacientes con PSM moderados y severos ( $\sum_{j \in J} \sum_{k \in J} X_{jk}^2 c_{jk}$ ) igual a 457 939.6 “pacientes \* km”; tercero, la accesibilidad al internamiento para pacientes con PSM severos sin condición de desamparo ( $\sum_{j \in J} \sum_{k \in J} X_{jk}^3 c_{jk}$ ) igual a 24 921.16 “pacientes \* km”; y, cuarto, la accesibilidad al internamiento para pacientes con PSM severos con condición de desamparo

$(\sum_{j \in J} \sum_{k \in J} X_{jk}^4 c_{jk})$  igual a 147.9 “pacientes \* km”. Estos resultados están en la tabla 4.4., donde se muestran además las accesibilidades promedio en cada nivel de servicio (definidos en la sección 3.2.) calculadas como la accesibilidad dividida por la cantidad de pacientes que se atienden.

Tabla 4.4. Accesibilidad hacia cada nivel de servicio en la DIRIS Lima Sur

	Accesibilidad (pacientes * km)	Accesibilidad promedio (km)
Nivel de servicio 1	98 728.03	0.25
Nivel de servicio 2	457 939.6	2.01
Nivel de servicio 3	24 921.16	13.31
Nivel de servicio 4	147.9	0.25

Sin embargo, estos resultados (tabla 4.4.) son agregados; por lo tanto, es conveniente omitir el componente flujos de pacientes con PSM presentes en la accesibilidad definida con la finalidad de analizar solamente las distancias en la mejor solución a la formulación extendida. A continuación, se muestran algunas medidas descriptivas sobre estas distancias en la tabla 4.5. y figura 4.1., donde la observación principal es que existen flujos de pacientes con PSM con más acceso que otros, pero la tendencia es hacia las distancias mínimas en los rangos de cada nivel de servicio (excepto en el tercero por contar con un solo establecimiento disponible).

Tabla 4.5. Medidas descriptivas de la accesibilidad en distancia para cada nivel de servicio en la mejor solución hallada a la formulación extendida

	Nivel de servicio 1	Nivel de servicio 2	Nivel de servicio 3	Nivel de servicio 4
Cantidad de orígenes	126	60	10	10
Cantidad de destinos	60	10	1	10
Promedio	0.65	3.18	13.32	0.99
Desviación estándar	0.99	4.70	4.47	3.12
Mínimo	0.00	0.00	4.52	0.00
Percentil 0.25	0.00	0.84	11.00	0.00
Percentil 0.5	0.17	2.08	13.84	0.00
Percentil 0.75	0.86	3.70	16.12	0.00
Máximo	4.28	25.62	20.39	9.86

Existen flujos de pacientes con PSM en la mejor solución a la formulación extendida con más acceso que otros flujos, principalmente porque existe al menos un nivel de servicio  $k$  en el cual la cantidad de establecimientos de salud de nivel  $k$  disponibles es menor que la cantidad de orígenes (centros de demanda u otros establecimientos) que demandan los servicios de nivel  $k$  (nivel de servicio 1, 126 orígenes y 60 establecimientos posibles de destino; nivel de servicio 2, 60 y 10; nivel de servicio 3, 10 y 1; nivel de servicio 4, 10 y 10). Es decir, el acceso será homogéneo para todos los orígenes si y solo si se localiza un establecimiento de salud con la capacidad de atender todos los niveles de servicio en cada centro de demanda. Esto es irreal considerando la escasez de recursos.

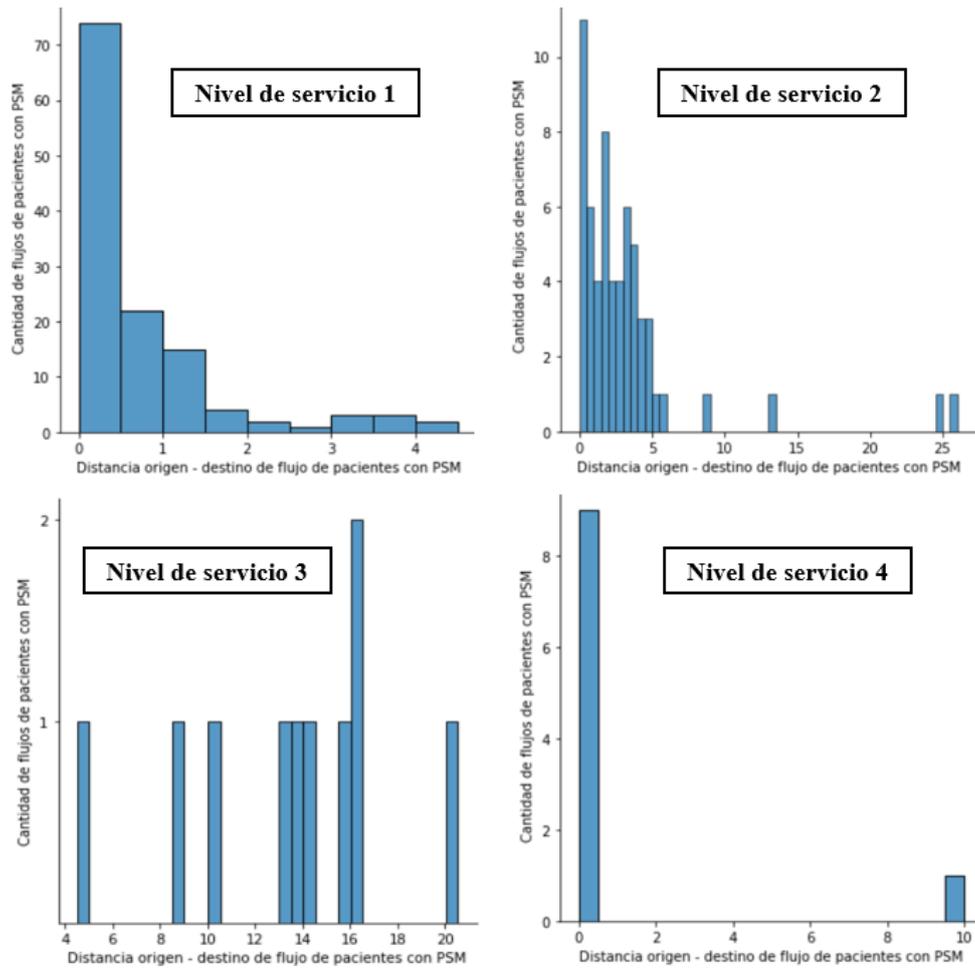


Figura 4.1. Distribuciones de datos de la accesibilidad en distancia para cada nivel de servicio en la mejor solución hallada a la formulación extendida

Finalmente, con respecto a la tendencia hacia las distancias mínimas en los rangos en cada nivel de servicio, se espera que, a medida que se encuentren mejores soluciones a la presentada aquí, esta se acumule más hacia el mínimo del rango.

# CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1. Conclusiones

1. La importancia que tiene la salud mental en cada persona y en la sociedad solo pudo cuantificarse a través del indicador epidemiológico “carga de enfermedad” gracias a que este incluye en sí la discapacidad además de la muerte prematura. Este indicador demuestra que las enfermedades mentales se ubican entre las primeras causas de discapacidad en todos los países y en todos los años. Por esta razón, además, la salud mental es parte de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2015-2030.
2. En Perú en los años 2004, 2008, 2012 y 2016, los años de vida saludable perdidos (AVISA) por categorías de enfermedades están encabezados por los AVISA posiblemente relacionados a la salud mental (al menos 12.56% de los AVISA por todas las causas en cada año), cuyo componente años de vida con discapacidad (AVD) tiene mayor carga (al menos 87.98% de los AVISA posiblemente relacionados a salud mental). En comparación con la región América en 2016, Perú tiene mayor cantidad relativa de AVISA posiblemente relacionados a la salud mental (12.56% contra 10.5%), pero menor discapacidad asociada a estas causas (AVD posiblemente relacionados a la salud mental con respecto a los AVD por todas las causas de 21.19% contra 22%) y menor prevalencia de trastornos mentales (13.5% contra 17.8%); por lo tanto, Perú tendría menor cantidad de personas con problemas de salud mental, cada una con menor discapacidad asociada, pero mayor duración del problema que la región América.
3. El sistema de salud peruano se caracteriza por estar organizado en tres distintos niveles de atención, cada uno con mayor especialidad y capacidad de resolución que el anterior. Esta cualidad se extiende al sistema de salud mental a través de las redes de atención comunitaria a la salud mental (RACSM), las cuales priorizan la accesibilidad a sus servicios y la integración con el nivel primario de atención. De entre los establecimientos que conforman una RACSM, resaltan los centros de salud mental comunitarios, cuya implementación incrementan la accesibilidad a servicios de salud mental en 159% dentro de sus jurisdicciones.
4. La formulación inicial del modelo de optimización propuesto requirió dos modificaciones sucesivas para lograr soluciones factibles y con algunas propiedades de la solución óptima sin depender del tiempo de ejecución de búsqueda mediante un método exacto para un problema *NP-Hard*. La primera modificación ("formulación relajada") fue determinante para que la formulación inicial tenga soluciones factibles, debido a la muy baja probabilidad de encontrar números enteros que satisfagan igualdades donde existen factores decimales. Sin embargo, la mejor solución hallada a esta formulación relajada (relativa *MIP gap* de 85.8% y tiempo de ejecución total de 600.09 segundos) presentó consumos inútiles de establecimientos de salud (se localiza al menos un establecimiento al

cual no se le asigna ningún flujo de pacientes) y flujos no únicos (al menos un flujo de pacientes desde un origen se asigna a dos o más destinos de atención). La segunda modificación ("formulación extendida") añade nuevas variables y restricciones para prohibir explícitamente las dos situaciones anteriores, donde la primera no ocurre en el óptimo, porque a mayor cantidad de establecimientos útiles, menor recorrido ponderado según la función objetivo; por su parte, la segunda no ocurre, porque si las capacidades son ilimitadas, entonces no se gana nada al asignar una porción de un flujo hacia otro destino.

5. La mejor solución hallada a la formulación extendida (relative *MIP gap* de 89.15% y tiempo de ejecución total de 601.2 segundos) tiende a localizar establecimientos de salud en los centros de demanda con mayor cantidad de población, porque la función objetivo busca minimizar los recorridos ponderados totales en toda la RACSM.
6. A pesar de que la formulación extendida requirió un margen positivo de 20% en las restricciones relajadas, los porcentajes de referencia iniciales  $\alpha$ ,  $\beta$  y  $\theta$  (58.52%, 0.82% y 0.26%) no difieren mucho de los porcentajes de referencia resultantes en la solución (58.53%, 0.8224%, 0.2636%), porque la función objetivo busca minimizar indirectamente la cantidad de pacientes referidos hacia otros niveles de servicio.
7. La cantidad de establecimientos de un determinado nivel tiene correlación positiva con la accesibilidad a este nivel. Sin embargo, siempre habrá algún flujo de pacientes con PSM con mayor accesibilidad que otro a menos que cada origen de flujo (centro de demanda u otro establecimiento de salud) tenga localizado en sí al establecimiento de salud del nivel que requiere.
8. La mejor solución hallada a la formulación extendida indica que la cifra estimada de pacientes con PSM en la DIRIS Lima Sur (388 871) está completamente atendida. Sin embargo, la formulación extendida no necesariamente garantiza las distancias mínimas (máxima accesibilidad) en el óptimo global para todo centro de demanda o establecimiento de salud; por lo tanto, las medidas descriptivas de las distancias recorridas en los niveles de servicio 1, 2, 3 y 4 en la mejor solución a la formulación extendida considerando 50 establecimientos del tipo 1, 10 del 2, 1 del 3 y 10 del 4 (promedios 0.65, 3.18, 13.32, 0.99 km; medianas 0.17, 2.08, 13.84, 0 km; y rangos [0, 4.28], [0, 25.62], [4.52, 20.39], [0, 9.86]), no necesariamente representan las cotas superiores del óptimo global a dicha formulación.

## 5.2. Recomendaciones

1. Emplear alguna heurística en la solución para obtener más soluciones (posiblemente mejores) en menor tiempo.
2. Resolver sucesivamente los cuatro problemas P-mediana implícitos, cada uno con la solución resultante del precedente nivel de servicio.

## REFERENCIAS

- Afshari, H., & Peng, Q. (2014). Challenges and solutions for location of healthcare facilities. *Industrial Engineering & Management*, 3(2), 1-12. doi: 10.4172/2169-0316.1000127
- Bachrach, L. (1978). A conceptual approach to deinstitutionalization. *Hospital and Community Psychiatry*, 29(9), 573-578. doi: 10.1176/ps.29.9.573
- Bertolote, J., & Fleischmann, A. (2002). A global perspective in the epidemiology of suicide. *Suicidologi*, 7(2), 6-8. doi: 10.5617/suicidologi.2330
- Brandeau, M., & Chiu, S. (1989). An overview of representative problems in location research. *Management Science*, 35(6), 645-674. <https://doi.org/10.1287/mnsc.35.6.645>
- Daskin, M., & Dean, L. (2004). Location of health care facilities. En F. Sainfort, M. Brandeau, & W. Pierskalla (Eds.), *Operations Research/Management Science in Health Care: A Handbook of Methods and Applications*. Recuperado de [http://www.econ.upf.edu/~ramalhin/Referencias/Daskin\\_2004.pdf](http://www.econ.upf.edu/~ramalhin/Referencias/Daskin_2004.pdf)
- Decreto Supremo N° 020-2014-SA. (12 de junio de 2014). Normas Legales. Diario Oficial El Peruano.
- Decreto Supremo N° 033-2015-SA. (5 de octubre de 2015). Normas Legales. Diario Oficial El Peruano.
- Desviat, M. (2010). Los avatares de una ilusión: la reforma psiquiátrica en España. *Cuadernos De Trabajo Social*, 23, 253 - 263. Recuperado de <https://revistas.ucm.es/index.php/CUTS/article/view/CUTS1010110253A/7484>
- Donev, D., Kovacic, L., & Laaser, U. (2013). The role and organization of health care systems. En G. Burazeri & L. Zaletel-Kragelj (Eds.), *Health: Systems – Lifestyles – Policies*. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/257830385\\_The\\_Role\\_and\\_Organization\\_of\\_Health\\_Care\\_Systems](https://www.researchgate.net/publication/257830385_The_Role_and_Organization_of_Health_Care_Systems)
- Eaton, J., Kakuma, R., Wright, A., & Minas, H. (2014). A position statement on mental health in the post-2015 development agenda. *International Journal of Mental Health Systems*, 8(28), 1-5. doi: 10.1186/1752-4458-8-28
- Eiselt, H., & Marianov, V. (2011). Pioneering developments in location analysis. En H.A. Eiselt, & V. Marianov (Eds.), *Foundations of location analysis* (pp. 3-22). Springer.
- Galderisi, S., Heinz, A., Kastrup, M., Beezhold, J., & Sartorius, N. (2015). Toward a new definition of mental health. *World Psychiatry*, 14(2), 231-233. doi:10.1002/wps.20231
- Galvão, R., & Acosta, L., & Boffey, B. (2002). A hierarchical model for the location of perinatal facilities in the Municipality of Rio de Janeiro. *European Journal of Operational Research*, 138(3), 495-517. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(01\)00172-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(01)00172-2)
- Güneş, E., & Nickel, S. (2015). Location problems in healthcare. En G. Laporte, S. Nickel, & F. Saldanha da Gama (Eds.), *Location science* (pp. 555-575). Springer International Publishing.
- Instituto Nacional de Salud Mental. (2018). *Estudio epidemiológico de salud mental en hospitales generales y centros de salud de Lima Metropolitana – 2015*. Instituto Nacional de Salud Mental “Honorio Delgado – Hideyo Noguchi”.

- Kohn, R., Ali, A., Puac – Polanco, V., Figueroa, C., López – Soto, V., Morgan, K., Saldivia, S., & Vicente, B. (2018). Mental health in the Americas: an overview of the treatment gap. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 42(165), 1-10. doi: <https://doi.org/10.26633/RPSP.2018.165>
- Lameire, N., Joffe, P., & Wiedemann, M. (1999). Healthcare systems – an international review: an overview. *Nephrol Dial Transplant*, 14(6), 3-9. doi: 10.1093/ndt/14.suppl\_6.3
- Laporte, G., Nickel, S., & Saldanha da Gama, F. (2015). Introduction to location science. En G. Laporte, S. Nickel, & F. Saldanha da Gama (Eds.), *Location science* (pp. 1-17). Springer International Publishing.
- Lazo-Gonzales, O., & Alcalde-Rabanal, J., & Espinosa-Henao, O. (2016). El sistema de salud en Perú: Situaciones y desafíos. Colegio Médico del Perú.
- Ley N° 29889. (23 de junio de 2012). Ley que modifica el artículo 11 de la Ley N° 26842, Ley General de la Salud, y garantiza los derechos de las personas con problemas de salud mental. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-que-modifica-el-articulo-11-de-la-ley-26842-ley-general-ley-n-29889-805832-2/>
- Ministerio de Salud. (s.f.). Centros de salud mental comunitarios. Recuperado en 8 de julio, 2020. <https://www.dirislimasur.gob.pe/centros-de-salud-mentales-comunitarios/>
- Ministerio de Salud. (2006). *Estudio de carga de enfermedad en el Perú - 2004*. Ministerio de Salud Dirección General de Epidemiología.
- Ministerio de Salud. (2008). *La carga de enfermedad y lesiones en el Perú*. (1a. ed.). Ministerio de Salud Dirección General de Epidemiología.
- Ministerio de Salud. (2011). (2011, 13 de julio). *NTS N°021-MINSA/DGSP-V.03: Norma técnica de salud “Categorías de establecimientos del sector salud”*. Resolución Ministerial N°546-2011/MINSA. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/243402-546-2011-minsa>
- Ministerio de Salud. (2014). *Carga de enfermedad en el Perú Estimación de los años de vida saludables perdidos 2012*. Ministerio de Salud.
- Ministerio de Salud. (2018a). (2018, 20 de abril). *Documento técnico. Plan nacional de fortalecimiento de servicios de salud mental comunitaria 2018 – 2021*. Resolución Ministerial N°356-2018/MINSA. <https://www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/187244-356-2018-minsa>
- Ministerio de Salud. (2018b). *Carga de enfermedad en el Perú. Estimación de los años de vida saludables perdidos 2016* (1a. ed.). Ministerio de Salud.
- Ministerio de Salud. (2018c). *Análisis de situación de salud. Dirección de Redes Integradas de Salud Lima Sur. ASIS 2018*. Ministerio de Salud.
- Narula, S. (1984). Hierarchical location-allocation problems: A classification scheme. *European Journal of Operational Research*, 15(1), 93-99. doi: [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(84\)90052-3](https://doi.org/10.1016/0377-2217(84)90052-3)
- Narula, S. (1986). Minisum hierarchical location-allocation problems on a network: A survey. *Annals of Operations Research*, 6, 255-272. doi: <https://doi.org/10.1007/BF02023745>
- Narula, S., & Ogbu, U. (1979). An hierarchical location-allocation problem. *Omega*, 7(2), 137-143. doi: [https://doi.org/10.1016/0305-0483\(79\)90101-4](https://doi.org/10.1016/0305-0483(79)90101-4)

- Organización Mundial de la Salud. (s.f.). Health financing: Out-of-pocket payments, user fees and catastrophic expenditure. Recuperado en Noviembre 15, 2019, de [https://www.who.int/health\\_financing/topics/financial-protection/out-of-pocket-payments/en/](https://www.who.int/health_financing/topics/financial-protection/out-of-pocket-payments/en/)
- Organización Mundial de la Salud, Banco Mundial, & Escuela de Salud Pública de Harvard. (1996). *The global burden of disease. A comprehensive assessment of mortality and disability from diseases, injuries, and risk factors in 1990 and projected to 2020: summary* (C. J. L. Murray, & A. D. Lopez, Eds.). Harvard School of Public Health.
- Organización Mundial de la Salud. (2009). *Improving health systems and services for mental health*. World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *World report on disability*. World Health Organization.
- Organización Mundial de la Salud. (2018). Mental health: strengthening our response. Recuperado en septiembre 28, 2019, de <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/mental-health-strengthening-our-response>
- Patel, V., Saxena, S., Lund, C., Thornicroft, G., Baingana, F., Bolton, P., Chisholm, D., Collins, P., Cooper, J., Eaton, J., Herrman, H., Herzallah, M., Huang, Y., Jordans, M., Kleinman, A., Medina-Mora, M., Morgan, E., Niaz, U., Omigbodun, O., ... Unützer, J. (2018). The Lancet Commission on global mental health and sustainable development. *The Lancet*, 392(10157), 1553-1598. doi: 10.1016/S0140-6736(18)31612-X
- Piazza, M., & Fiestas, F. (2014). Prevalencia anual de trastornos y uso de servicios de salud mental en el Perú: Resultados del estudio mundial de salud mental, 2005. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, 31(1), 30-38. Recuperado de [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342014000100005&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S1726-46342014000100005&script=sci_abstract)
- Prince, M., Patel, V., Saxena, S., Maj, M., Maselko, J., Phillips, M., & Rahman, A. (2007). No health without mental health. *The Lancet*, 370(9590), 859-877. doi: 10.1016/S0140-6736(07)61238-0
- Rahman, S., & Smith, D. (2000). The use of location-allocation models in health service development planning in developing nations. *European Journal of Operational Research*, 123(3), 437-452. doi: [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00289-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00289-1)
- Sahin, G., & Süral, H. (2007). A review of hierarchical facility location models. *Computers & Operations Research*, 34(8), 2310-2331. doi: 10.1016/j.cor.2005.09.005
- Scaparra, M., & Scutellà, M. (2001). *Facilities, locations, customers: Building blocks of Location Models. A survey*. Università Di Pisa Dipartimento di Informatica. Recuperado de <https://kar.kent.ac.uk/id/eprint/5394>
- Scott, A. (2010). Location-allocation systems: A review. *Geographical analysis*, 2(2), 95-119. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1970.tb00149.x>
- Shariff, S., Moin, N., & Omar, M. (2012). Location allocation modelling for healthcare facility planning in Malaysia. *Computers & Industrial Engineering*, 62(4), 1000-1010. doi: 10.1016/j.cie.2011.12.026
- SUSALUD. (2020). Mundo IAFAS. Recuperado en 26 de junio, 2020, de [http://bi.susalud.gob.pe/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=QV%20Produccion%2FSIG\\_USALUD.qvw&host=QVS%40srvqlikias&anonymous=true](http://bi.susalud.gob.pe/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=QV%20Produccion%2FSIG_USALUD.qvw&host=QVS%40srvqlikias&anonymous=true)

- Thornicroft, G., Deb, T., & Henderson, C. (2016). Community mental health care worldwide: current status and further developments. *World Psychiatry, 15*(3), 276–286. doi: 10.1002/wps.20349
- Valdez-Huarcaya, W., Miranda, J., Ramos, W., Martínez, C., Mariños, C., Napanga, O., Tovar, J., & Suárez-Ognio, L. (2012). Estimación de la carga de enfermedad por muerte prematura y discapacidad en el Perú. Año 2008. *Revista peruana de Epidemiología, 16*(2), 1-9.  
Recuperado de  
[http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/epidemiologia/v16\\_n2/pdf/a05v16n2.pdf](http://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/epidemiologia/v16_n2/pdf/a05v16n2.pdf)
- Verter, V., & Zhang, Y. (2015). Location models for preventing care. En H.A. Eiselt, & V. Marianov (Eds.), *Applications of location analysis* (pp. 223-242). Springer.
- Vigo, D., Thornicroft, G., & Atun, R. (2016). Estimating the true global burden of mental illness. *The Lancet, 3*(2), 171-178. doi: 10.1016/S2215-0366(15)00505-2
- Wallace, L. (2013). A view of health care around the world. *Annals of Family Medicine, 11*(1), 84. doi: 10.1370/afm.1484
- White, W. (1911). Preventive principles in the field of mental medicine. *Journal of the American Public Health Association, 1*(2), 82-89. doi: 10.2105/AJPH.1.2.82



## ANEXO 1234

Ver archivo “anexos1234.xlsx”. Este contiene (1) la categoría, población asignada del año 2017, población con PSM, latitud-longitud de cada establecimiento de salud en la Dirección de Redes Integradas de Salud Lima Sur; (2) la matriz de distancias más cortas entre cada par de establecimiento de salud; (3) resultados de la mejor solución a la formulación relajada; (4) resultados de la mejor solución a la formulación extendida y MIP gap, tiempo de ejecución y función objetivo desagregado de estas dos formulaciones.



## ANEXO CÓDIGO OPL

```

//.mod
//Conjuntos
int nCD =...; //cantidad Centros de Demanda (CD)
int nEM =...; //cantidad Establecimientos Médicos (EM)
range I = 1..nCD; //conjunto de CD
range J = 1..nEM; //conjunto de EM
//Parámetros
int M =...; //número muy grande (capacidad ilimitada)
int p1 =...; //cantidad de EM no especializados
int p2 =...; //cantidad de CSMC
int p3 =...; //cantidad de unid. hosp.
int p4 =...; //cantidad de hog. proteg.
int d[I] = ...; //cantidad de pacientes por CD
float alfa =...; //transferencia desde primer acceso hacia CSMC
float beta =...; // transferencia desde CSMC hacia unid. hosp.
float theta =...; // transferencia desde CSMC hacia hog. proteg.
float cij[I][J] =...; //distancias entre CD y EM
float cjj[J][J] =...; //distancias entre EM y EM
//Variables de decisión + dominios
dvar boolean Y1[J]; //localizar o no un EM no especializado
dvar boolean Y2[J]; //localizar o no un CSMC
dvar boolean Y3[J]; //localizar o no una unid. hosp.
dvar boolean Y4[J]; //localizar o no un hog. proteg.
dvar int+ X1[I][J]; //Flujo de pacientes desde CD hacia primer acceso
dvar int+ X2[J][J]; //Flujo de pacientes desde primer acceso hacia CSMC
dvar int+ X3[J][J]; //Flujo de pacientes desde CSMC hacia unid. hosp.
dvar int+ X4[J][J]; //Flujo de pacientes desde CSMC hacia hog. proteg.
dvar boolean A1[I][J]; //asignación única EM no espec. "formulación extendida"
dvar boolean A2[J][J]; //asignación única CSMC "formulación extendida"
dvar boolean A3[J][J]; //asignación única unid. hosp. "formulación extendida"
dvar boolean A4[J][J]; //asignación única hog. proteg. "formulación extendida"
//Expresiones para la función objetivo
dexpr float primer_acceso = sum(i in I, j in J) X1[i][j]*cij[i][j];
dexpr float hacia_CSMC = sum(j in J, k in J) X2[j][k]*cjj[j][k];
dexpr float hacia_unid_hosp = sum(j in J, k in J) X3[j][k]*cjj[j][k];
dexpr float hacia_hog_proteg = sum(j in J, k in J) X4[j][k]*cjj[j][k];
//Función objetivo
minimize primer_acceso + hacia_CSMC + hacia_unid_hosp + hacia_hog_proteg;
//Restricciones
subject to{
R2: forall(i in I) sum(j in J) X1[i][j] == d[i];
R3l: forall(j in J) sum(k in J) X2[j][k] >= alfa*sum(i in I) X1[i][j]; //Cota inferior X2
"formulación relajada"
R3u: forall(j in J) sum(k in J) X2[j][k] <= 1.2 * alfa * sum(i in I) X1[i][j]; // Cota
superior X2 "formulación relajada"
R4l: forall(j in J) sum(k in J) X3[j][k] >= beta * sum(k in J)X2[k][j]; //Cota inferior X3
"formulación relajada"
R4u: forall(j in J) sum(k in J) X3[j][k] <= 1.2 * beta * sum(k in J)X2[k][j]; // Cota
superior X3 "formulación relajada"
R5l: forall(j in J) sum(k in J) X4[j][k] >= theta * sum(k in J)X2[k][j]; //Cota inferior X4
"formulación relajada"
R5u: forall(j in J) sum(k in J) X4[j][k] <= 1.2 * theta * sum(k in J)X2[k][j]; // Cota
superior X4 "formulación relajada"
R6: forall(j in J) sum(i in I) X1[i][j] <= M * (Y1[j] + Y2[j]);
R7: forall(j in J) sum(k in J) X2[k][j] <= M * Y2[j];
R8: forall(j in J) sum(k in J) X3[k][j] <= M * Y3[j];
R9: forall(j in J) sum(k in J) X4[k][j] <= M * Y4[j];
R10: sum(j in J) Y1[j] == p1;
R11: sum(j in J) Y2[j] == p2;
R12: sum(j in J) Y3[j] == p3;
R13: sum(j in J) Y4[j] == p4;
R6a: forall(j in J) sum(i in I) X1[i][j] >= Y1[j]; //No "consumo inútil" de EM no espec.
"formulación extendida"

```

```

R6b: forall(j in J) sum(i in I) X1[i][j] >= Y2[j]; //No "consumo inútil" de EM no espec.
"formulación extendida"
R7a: forall(j in J) sum(k in J) X2[k][j] >= Y2[j]; //No "consumo inútil" de CSMC
"formulación extendida"
R8a: forall(j in J) sum(k in J) X3[k][j] >= Y3[j]; //No "consumo inútil" de unid. hosp.
"formulación extendida"
R9a: forall(j in J) sum(k in J) X4[k][j] >= Y4[j]; //No "consumo inútil" de hog. proteg.
"formulación extendida"
/--asignaciones únicas para evitar "flujos no únicos" "formulación extendida"
R16: forall(i in I) sum(j in J) A1[i][j] <= 1;
R17: forall(i in I, j in J) X1[i][j] <= M * A1[i][j];
R18: forall(i in I, j in J) X1[i][j] >= A1[i][j];
R19: forall(j in J) sum(k in J) A2[j][k] <= 1;
R20: forall(j in J, k in J) X2[j][k] <= M * A2[j][k];
R21: forall(j in J, k in J) X2[j][k] >= A2[j][k];
R22: forall(j in J) sum(k in J) A3[j][k] <= 1;
R23: forall(j in J, k in J) X3[j][k] <= M * A3[j][k];
R24: forall(j in J, k in J) X3[j][k] >= A3[j][k];
R25: forall(j in J) sum(k in J) A4[j][k] <= 1;
R26: forall(j in J, k in J) X4[j][k] <= M * A4[j][k];
R27: forall(j in J, k in J) X4[j][k] >= A4[j][k];
/--
}
//.dat
nCD = 126;
nEM = 126;
M = 390000;
p1 = 50;
p2 = 10;
p3 = 1;
p4 = 10;
alfa = 0.5852;
beta = 0.0082;
theta = 0.0026;
SheetConnection data("../Tesis2020.xlsx");
d from SheetRead(data,"asisdls18'!E2:E127"); //demandas por CD
cij from SheetRead(data,"matriz distancias más cortas'!B2:DW127"); //matriz de distancias
CD a EM
cjj from SheetRead(data,"matriz distancias más cortas'!B2:DW127"); //matriz de distancias
EM a EM
SheetConnection sol("../resultados_sustentacion.xlsx");
X1 to SheetWrite(sol,"X1'!B2:DW127");
X2 to SheetWrite(sol,"X2'!B2:DW127");
X3 to SheetWrite(sol,"X3'!B2:DW127");
X4 to SheetWrite(sol,"X4'!B2:DW127");
Y1 to SheetWrite(sol,"Y1234'!B2:B127");
Y2 to SheetWrite(sol,"Y1234'!C2:C127");
Y3 to SheetWrite(sol,"Y1234'!D2:D127");
Y4 to SheetWrite(sol,"Y1234'!E2:E127");
//An
A1 to SheetWrite(sol,"A1'!B2:DW127");
A2 to SheetWrite(sol,"A2'!B2:DW127");
A3 to SheetWrite(sol,"A3'!B2:DW127");
A4 to SheetWrite(sol,"A4'!B2:DW127");

```