Resumen artículo: “ **Healthcare sheduling in optimization context** ”

# Resumen y alcance:

Este artículo ofrece una recopilación de los últimos estudios (hasta 190 artículos) sobre **problemas de programación en el ámbito de la salud**, centrándose en la literatura reciente, incluyendo problemas de programación para la **admisión de pacientes, asignación y turnos de enfermería, programación de salas de operaciones, programación de cirugías** y otros problemas relacionados con la programación en el sector de la salud.

Los **métodos de programación en salud** que **buscan automatizar la búsqueda de una gestión óptima de recursos en hospitales** mediante **el uso de métodos metaheurísticos han proliferado.**

Sin embargo, los resultados informados están fragmentados, ya que cada problema específico se resuelve de manera independiente, dado que existen muchas versiones de definición de problemas y diversas bases de datos disponibles para cada uno de ellos. El presente artículo integra los resultados existentes mediante una revisión exhaustiva basados en cuatro **componentes esenciales para resolver problemas de optimización: definición del problema, formulaciones, bases de datos y métodos.**

**El objetivo** es ayudar a los investigadores a destacar algunos desarrollos de los trabajos más recientes **y comprender las nuevas tendencias para futuras direcciones**.

# Introducción

En la actualidad, los problemas de optimización en el sector de la salud han recibido una atención significativa con el fin de brindar servicios más adecuados a un menor costo. Un sistema de programación adecuado puede reducir el tiempo de espera de los pacientes, facilitar el acceso a los servicios médicos y mejorar la calidad de las operaciones de atención médica.

Para lograr una programación viable en cualquier sistema de salud, es necesario determinar las restricciones y preferencias, tanto las **"hard constraints"** (restricciones estrictas que **no pueden ser violadas**) como las **"soft constraints"** (restricciones **flexibles** que pueden ser parte de la función de costo y **deben minimizarse**).

El uso de métodos de optimización ha demostrado resultados muy efectivos para resolver problemas de programación en el ámbito de la salud. Sin embargo, aún hay margen para mejorar los resultados generados por los estudios actuales, para las aplicaciones antes mencionadas.

# Problema de admisión de pacientes

## Definición del problema

El Problema de Programación de Admisión de Pacientes **(PASP)** se refiere a **asignar pacientes a habitaciones en el hospital a lo largo de un horizonte de tiempo**. Es un problema de **optimización combinatoria**. El PASP brinda apoyo a los **toma de decisiones** en diferentes niveles, como a largo plazo (nivel estratégico), a mediano plazo (nivel táctico) y a corto plazo (nivel operativo) en los institutos de salud. Esto determina si los recursos del hospital están listos para recibir pacientes a través de servicios satisfactorios.

La falta de conocimiento e información general de los departamentos puede resultar en una ocupación subóptima de las camas. Puede haber escasez de camas disponibles para pacientes en algunos departamentos, mientras que en otros departamentos pueden haber camas adicionales.

Su solución permite programar a los pacientes asignados a camas específicas en departamentos relevantes de manera óptima, satisfaciendo las necesidades de los pacientes y asegurando el cumplimiento de todas las restricciones médicas requeridas.

## Formulación del problema

### VERSION 1

La terminología básica del problema se puede describir de la siguiente manera:

1. Horizonte de tiempo: Variables que representan el horizonte de tiempo para cada paciente ubicado en el hospital.
2. Pacientes admitidos: Pacientes que han sido efectivamente admitidos en el hospital y se les ha asignado una habitación y una cama.
3. Paciente: Persona que requiere atención médica en un hospital y debe ser asignada a una habitación con una fecha determinada de admisión y alta.
4. Habitación: Cada departamento del hospital tiene sus propias habitaciones, y cada habitación tiene una capacidad específica dependiendo del número de camas que contiene, que puede ser individual, doble o en sala.
5. Especialidad: Cada departamento del hospital se define por uno o varios tratamientos específicos. Además, las habitaciones individuales pertenecientes a un departamento específico tienen un nivel específico de tratamiento que varía de 1 a 3 según el caso del paciente.
6. Transferencia: Movimiento de un paciente admitido de una habitación a otra durante su estancia.

Como se ha mencionado anteriormente, la formulación del PASP esta sujeta a ciertas **restricciones**, algunas de ellas son **estrictas** (“**hard** constrains”) y otras **flexibles** (“**soft** constrains”), las cuales, son las siguientes:

* HC1: Disponibilidad de habitaciones (Rj).
* HC2: Las fechas de admisión (ADi) y alta (DDi), así como el horizonte de tiempo para el paciente electivo, deben estar fijas e inalterables.
* HC3: El horizonte de tiempo debe ser continuo.
* HC4: Dos pacientes (Pi1, Pi2) no pueden ser asignados a la misma cama al mismo tiempo.
* HC5: Se debe tener en cuenta el género del paciente.
* HC6: El paciente debe ser asignado a un departamento adecuado para su edad.
* HC7: Las propiedades obligatorias de las habitaciones deben estar disponibles en las habitaciones asignadas.
* HC8: Política de cuarentena para algunos pacientes que necesitan estar aislados debido a sus condiciones médicas.

Las restricciones flexibles para este problema pueden resumirse de la siguiente manera:

* SC1: Preferencia de habitación, que indica la preferencia del paciente en cuanto a la capacidad de la habitación (individual, doble, sala, etc.). Estas restricciones pueden ser consideradas o penalizadas (Tabla 3) según el peso de la penalización.
* SC2: Propiedades preferidas de la habitación, que representan ciertos equipos médicos o personal, como enfermeras, en el departamento.
* SC3: Grado de especialización, en algunos casos, los pacientes prefieren recibir tratamiento médico en departamentos con un mayor grado de especialización.
* SC4: Propiedades necesarias, algunos pacientes deben ser asignados a una habitación con equipos médicos especiales. Esta restricción está relacionada con HC7.
* SC5: Transferencias, se deben minimizar las transferencias no planificadas.

Todas las restricciones flexibles deben cumplirse en la medida de lo posible, aunque a veces es imposible satisfacer todas ellas.

La función objetivo del Problema de Programación de Admisión de Pacientes (PASP) consiste en minimizar todas las restricciones flexibles, al tiempo que se satisfacen las preferencias de los pacientes y se respetan todas las restricciones estrictas, para obtener soluciones factibles.

### VERSION 2

La versión 2 del PASU involucra asignar una habitación a cada paciente durante un número de días igual a su período de estancia, comenzando en un día no antes de la admisión planificada.

La formulación del problema consideró muchos atributos con el fin de desarrollar el servicio médico en el hospital, teniendo en cuenta la posibilidad de que la estancia de un paciente pueda ser extendida, lo que podría afectar la programación de habitaciones y llevar al hacinamiento.

Además de los conceptos básicos estudiados en la primera versión, esta incluye los siguientes nuevos conceptos:

1. **Características de la Habitación**: La calidad de la habitación depende de sus características. Algunas habitaciones tienen características adicionales como oxígeno, telemetría, nitrógeno y televisión. Algunos pacientes necesitan o prefieren ciertas características específicas dependiendo del caso.
2. **Política de Género de la Habitación**: Cada habitación individual tiene una política de género. Hay cuatro políticas: (SG) solo para pacientes femeninas, (Fe) solo para pacientes masculinos, (Ma) solo para pacientes masculinos y (All) ambos géneros pueden ser aceptados, pero en el mismo día deben ser del mismo género.
3. **Política de Edad:** Ciertos departamentos tienen límites de edad. Por ejemplo, el departamento de pediatría acepta pacientes de 0 a 12 años. El PASU involucra restricciones estrictas y flexibles que deben cumplirse.

Las restricciones estrictas son:

* HC1: Capacidad de la habitación (RC): Asignar dos pacientes a la misma cama simultáneamente hace que la solución sea inviable.
* HC2: Edad del paciente (PA): Los pacientes deben ser asignados a un departamento que acepte su edad.

Las restricciones flexibles son:

* SC1: Género de la habitación (RG): Debe cumplirse la política de género de la habitación.
* SC2: Preferencia de la habitación (RP): El paciente prefiere ser asignado a una habitación con preferencias especiales.
* SC3: Transferencia (Tr): La transferencia de pacientes de una habitación a otra durante su estancia no es deseable.
* SC4: Retraso (De): Retraso en la admisión de pacientes.
* SC5: Riesgo de hacinamiento (OR): Cálculo del número de pacientes asignados a cada habitación y la posibilidad de que algunos pacientes alarguen su estancia, junto con la capacidad de la habitación.

Todas las restricciones flexibles están correlacionadas con pesos, basados en su importancia para los pacientes.

El peso más alto se asocia con SC3, las transferencias de pacientes agregan 100 a la función objetivo. El segundo peso más alto es para SC1, que se relaciona con la política de género para los pacientes, se le asigna un peso de 50 y se agrega al costo. ETC.

### VERSION 3

Esta versión del problema de programación de admisión de pacientes se relaciona con la programación de quirófanos. Se divide en dos fases: la fase de restricciones de admisión de pacientes y la fase de restricciones de quirófanos.

En la primera fase, los principales conceptos son los siguientes:

1. Pacientes: es el componente principal de este problema, y cada paciente debe tener una fecha de admisión y una fecha de alta, y la duración entre la admisión y el alta se llama duración de la estancia.
2. Día: es una unidad que especifica el tiempo que los pacientes pasan en el hospital, donde cada paciente debe pasar unos días continuos. Estos días se denominan horizonte de planificación.
3. Habitación: pertenece a un departamento, y la cantidad de camas que puede ocupar una habitación se llama capacidad (generalmente una, dos, cuatro camas o una sala). La habitación puede tener propiedades como oxígeno, nitrógeno, telemetría y televisión.
4. Especialidad: por lo general, los pacientes necesitan un tipo de tratamiento, aunque algunos pacientes pueden necesitar más de un tipo de tratamiento o tener casos especiales. Cada departamento en el hospital se encarga de tratar una enfermedad específica que requiere diferentes tipos de especialización, y existen tres niveles de especialistas en el departamento: tratamiento completo (sin penalización), tratamiento parcial con penalización y sin tratamiento.

Además de las características mencionadas anteriormente, existen dos políticas, la edad y el género. Algunos departamentos, como pediatría y geriatría, solo aceptan pacientes de un rango de edad específico, mientras que la política de género se refiere a cuatro tipos de habitaciones en el hospital: D (ambos géneros), F (solo mujeres), M (solo hombres) y N (ambos géneros en ciertas condiciones, como en unidades de cuidados intensivos).

Este problema aborda la asignación de pacientes a habitaciones en un departamento, donde los pacientes están actualmente presentes en el hospital, lo que hace que la admisión sea realista y la salida de un paciente de una habitación puede ocurrir más tarde, dependiendo de la situación del paciente. La solución a este problema debe cumplir con todas las restricciones estrictas y se categorizan en este problema como:

HC1: Capacidad de la habitación (RC), cada habitación tiene un número limitado de camas, por lo que el número de pacientes no puede exceder el número de habitaciones.

HC2: Adecuación paciente-habitación (PRS), la asignación de un paciente individual a una habitación debe ser adecuada y apropiada para las necesidades y la condición del paciente.

El concepto básico de la segunda fase (notas de la sala de operaciones) es el siguiente:

La programación de la sala de operaciones implica asignar especialidades al Programa Maestro de Cirugía El Programa Maestro de Cirugía es un horario regularmente repetido en el que se asigna un especialista a la sala de operaciones durante un período de tiempo.

## Formulación matemática

El problema intenta minimizar una **función de coste** asociada a las restricciones estrictas y flexibles mencionadas para cada caso, y que es un **problema de programación lineal entera (PLE).**

1. P: conjunto de todos los pacientes.
2. PF: conjunto de pacientes femeninas. PM: conjunto de pacientes masculinos. Donde PF ⋃ PM = P.
3. PH: conjunto de pacientes hospitalizados y rp es la habitación ocupada por el paciente hospitalizado p ∈ PH.
4. D: conjunto de días.
5. R: conjunto de habitaciones y cr es la capacidad de la habitación r ∈ R.
6. RSG: subconjunto de habitaciones con política SG. Además, tenemos:
7. Dp: conjunto de días en los que el paciente p ∈ P está presente en el hospital.
8. Pd: conjunto de pacientes presentes en el día d (es decir, conjunto de pacientes p tal que d ∈ Dp).

Las principales variables de decisión son las siguientes:

xp,r: 1 si el paciente p está asignado a la habitación r, y 0 si no lo está. Las restricciones en las variables x son:

Se aplican las restricciones estrictas y flexibles para cada caso.

El modelo utiliza varias variables adicionales, como fr,d,mr,d,yr,d,b, para describir los componentes de la función objetivo F que incluye las restricciones de preferencia de habitación (RP), política de género de la habitación (RG) y riesgo de hacinamiento (OR). La función objetivo se compone de . Los componentes PRC, FRG y FOR están definidos como sigue:

* PRC: componente que representa el cumplimiento de las preferencias de habitación de los pacientes y está relacionado con la variable x.
* FRG: componente relacionado con la política de género de las habitaciones y está relacionado con las variables auxiliares f y m.
* FOR: componente relacionado con el riesgo de hacinamiento y está relacionado con la variable y.

Las ecuaciones calculan el costo para la asignación de paciente-habitación, el número de habitaciones ocupadas por pacientes de ambos géneros, y evalúa el riesgo de hacinamiento.

En general, el problema se modela como una matriz tridimensional de variables de decisión z, donde zp,r,d = 0 si y solo si el paciente p está en la habitación r en el día d. Es importante mencionar que los 1 en la matriz z son consecutivos y son iguales a la duración de la estancia del paciente.

## Conjunto de datos del problema PASP

El conjunto de datos consta de 13 instancias. Las instancias 1 a 6 tienen un número igual de intervalos de tiempo de 14 días, mientras que las instancias 7 a 12 tienen intervalos de tiempo entre 14 y 91 días. Todos los pacientes en estas instancias necesitan un solo tratamiento específico, pero en la instancia 13, los pacientes necesitan múltiples tratamientos durante su estancia. Esto significa que la instancia 13 es más compleja que las demás.

El conjunto de datos involucra dos etapas, la primera etapa describe las habitaciones en el hospital, incluyendo el nombre de la habitación, capacidad, tipo (que indica el género de los pacientes que ocupan la habitación), especialidad para cada habitación y finalmente las propiedades de la habitación. La segunda etapa representa las características necesarias o preferidas de los pacientes. Comienza con el identificador del paciente, edad, género, duración de la estancia. Luego, se incluye el departamento y la especialidad necesaria para cada paciente, la capacidad de la habitación preferida por el paciente y, finalmente, las propiedades necesarias y preferidas.

El segundo tipo de conjunto de datos es generado por un generador de datos que es capaz de generar datos realistas para un conjunto de tamaños variables.

El generador acepta parámetros como: el número de pacientes, departamentos, días, habitaciones y características. Las instancias generadas aleatoriamente se crean según una distribución predefinida relacionada con características variables como la duración de la estancia, la capacidad de las habitaciones, el número de especialidades y otros aspectos.

El generador no está diseñado para casos de un solo día para permitir la resolución de casos más complejos. El conjunto de datos consta de 9 familias de 50 instancias cada una. Las entidades del conjunto de datos se dividen en tres tamaños variables en términos del número de pacientes y de los horizontes de planificación. Observando este conjunto de datos, al duplicar el número de días, se duplica igualmente el número de pacientes para mantener el promedio de ocupación equilibrado.

## Métodos de optimización para el PASP

Las formas presentadas por los investigadores para optimizar la programación de admisión de pacientes se pueden clasificar en dos tipos de metodologías de búsqueda y técnicas de solución.

### Búsqueda tabú

Una búsqueda local llamada **búsqueda tabú** (tabu search) híbrida que se combina con un enfoque **de anillo de fichas y un descenso de vecinos variable**, aplicado para asignar a un paciente a una cama en el hospital.

Se utilizó un conjunto de datos generado aleatoriamente para evaluar el método propuesto. Este método necesita ser investigado más a fondo debido a la complejidad de este problema y también podría expandirse aún más en términos de considerar admisiones de emergencia y el departamento de cuidados intensivos.

### Optimización por colonia de hormigas

Un enfoque dinámico para el problema de programación de admisión de pacientes utilizando la optimización de colonias de hormigas basada en Re inicialización y en la programación de eventos discretos (DES). Esta técnica combina algoritmos metaheurísticos para encontrar soluciones óptimas para el problema. Se utilizaron datos generados aleatoriamente para evaluar el enfoque propuesto.

### Optimización por enjambre de partículas

Un método basado en optimización por enjambre de partículas se probó en una serie de instancias generadas aleatoriamente, y los resultados mostraron que el enfoque basado en enjambres de partículas supera a otros enfoques de programación tradicionales en términos de eficiencia y calidad de la solución.

### Algoritmos genéticos

Se propuso un algoritmo genético para asignar pacientes a camas de hospital en función de sus preferencias y características específicas. El algoritmo se probó utilizando datos simulados y se comparó con otros métodos, demostrando su efectividad en la obtención de soluciones de alta calidad.

### Programación lineal entera

Se desarrollaron dos modelos de programación lineal entera (ILP) para resolver este problema. El método desarrollado se sometió a pruebas utilizando un conjunto de datos de referencia con algunas extensiones en sus parámetros, como la fecha de registro y la fecha esperada de salida, además de incluir pacientes de emergencia explícitos. Los resultados de estos dos modelos mostraron un rendimiento superior en el segundo modelo en todas las circunstancias.

Dos métodos conocidos como "Fix-and-Relax" (FR) y "Fix-and-Optimize" (FO) fueron aplicados para resolver el PASP. Estos dos métodos se basan en heurísticas utilizando programación mixta entera. El problema se divide en dos subproblemas basados en el marco de tiempo, y luego se optimizan los subproblemas. Esto implica la descomposición con la consideración de la duración de la estadía y las preferencias. La solución generada por el primer método (FR) se utiliza como entrada para el segundo método (FO).

### Hill climbing

un nuevo enfoque metaheurístico conocido como Algoritmo de Búsqueda Hill Climbing de Aceptación Tardía para abordar el problema del PASP. El método estudiado es un tipo de metaheurística y se considera una técnica de solución de un solo punto.

El algoritmo propuesto implica dos pasos: el primer paso incluye la generación de la solución inicial factible utilizando un enfoque orientado a las habitaciones, mientras que el segundo paso involucra la inserción de tres estructuras de vecindario dentro del componente LAHC-PASP para mejorar la resolución inicial generada en el primer paso.

El objetivo principal detrás del método de programación es reducir el tiempo de espera del paciente y mejorar la utilización de los recursos del hospital.

### Otros métodos de optimización

Se han probado otros métodos de optimización; tanto métodos exactos como métodos heurísticos, la mayoría variaciones o derivados de los mencionados anteriormente.

## Discusión final

La programación de pacientes en optimización puede considerarse desde diferentes aspectos, como la programación a corto, mediano y largo plazo, el grupo de pacientes y los métodos que se pueden utilizar para abordar dicho problema. El problema de programación de admisiones de pacientes ha surgido en todos los niveles de planificación y programación hospitalaria.

En general, la mayoría de los estudios se han centrado en el nivel operativo más que en el táctico y estratégico. El nivel operativo también se conoce como nivel de apoyo a la toma de decisiones, asignando una tarea a los recursos en el hospital. Hay menos sistemas de programación que utilizan múltiples niveles de decisiones. La compatibilidad entre todos los niveles de decisión es un problema muy desafiante y los estudios al respecto no son tan extensos y necesitan una investigación más profunda.

Los pacientes han sido clasificados en grupos, pacientes electivos y pacientes no electivos. Los pacientes electivos han sido ampliamente estudiados en la literatura, utilizando datos históricos del hospital y programando a los pacientes de acuerdo con datos fijos (estáticos). Los pacientes no electivos se refieren a aquellos cuyas fechas de admisión y alta son desconocidas, como los pacientes de emergencia o los pacientes con incertidumbre (dinámicamente).

La versión dinámica de este problema recibe menos atención y muchos investigadores se centran en familias pequeñas y conjuntos de datos medianos.

Desde un punto de vista algorítmico, las versiones del problema de programación de admisiones de pacientes se han abordado utilizando diferentes heurísticas, metaheurísticas o métodos exactos. Los investigadores deben desarrollar nuevos algoritmos para abordar este problema.

# Turnos de enfermería NRP

## Definición del problema

Se define como un procedimiento para organizar un horario que satisfaga la demanda de cada persona sin conflictos. La programación de turnos de enfermeras ha sido considerada particularmente compleja y difícil de optimizar. Muchos investigadores han intentado resolver este problema utilizando diferentes modelos de optimización.

La programación de turnos de enfermeras es un problema NP-duro que implica dos pasos: el primer paso es determinar el número de personal a programar y el segundo paso es asignarlos en el horizonte de tiempo para el horario.

Para obtener la programación factible, se deben cumplir las restricciones rígidas, mientras que las restricciones flexibles están permitidas, pero se penalizarán. La preferencia en la programación de turnos de enfermeras debe maximizarse y el costo general debe minimizarse.

## Formulación del problema

El modelo genérico en este problema es cómo asignar una enfermera a un turno sujeto a varias restricciones. La función objetivo de este problema es minimizar todas las restricciones flexibles, lo que llevará a reducir las penalizaciones. La descripción del NRP es:

* programación de turnos: Lista que se realiza para varios días para cada área en la institución de atención médica.
* Tipos de turnos/rotaciones: Se asigna una enfermera con habilidades específicas durante un período de tiempo determinado.
* Se proporciona el número de enfermeras requeridas para cada día y para cada tipo de turno.
* Una serie de arreglos que reflejan las regulaciones de trabajo de las enfermeras.

## Versiones de conjuntos de datos NRP

Existen varios tipos de conjuntos de datos disponibles públicamente para el NRP. Sin embargo, la mayoría de ellos son datos del mundo real.

El primero de ellos son los conjuntos de datos KAHO, que representan instancias de seis áreas en dos hospitales belgas diferentes. Estas áreas incluyen tres escenarios diferentes: normal, sobrecarga y ausencia. El primer escenario representa un caso de trabajo habitual con condiciones de trabajo promedio. El segundo escenario ofrece condiciones inesperadas, por ejemplo, cuando hay un desastre o un caso de ausencia inesperada.

El segundo tipo de conjunto de datos pertenece a la Primera Competencia Internacional de Programación de Turnos de Enfermeras (INRC-2010), preparada por el grupo de investigación de la Universidad de Udine en Italia, y la Segunda Competencia Internacional de Programación de Turnos de Enfermeras (INRC-II).

## Métodos de optimización basados en NRP

El NRP típicamente se considera como un problema de programación de personal.

### Optimización por enjambre de partículas

Recientemente, se propuso el algoritmo “Directed Bee Colony” para abordar el NRP. Los investigadores utilizaron un modelo de programación matemática multiobjetivo y adaptaron una Optimización de Colonia de Abejas Dirigida de Múltiples Objetivos (MODBCO). El rendimiento de este algoritmo se evaluó utilizando INRC2010. Se eligió un conjunto de 69 casos diferentes de conjuntos de datos de varios tamaños, y 34 de 69 instancias obtuvieron los mejores resultados.

### Hill climbing

También ha sido objeto de estudio un algoritmo híbrido de búsqueda armónica con escalada de colina como resolución para abordar el problema de programación de enfermeras altamente limitado (NRP). Este método utiliza escalada de colina para potenciar su explotación en el espacio de búsqueda.

La consideración de la memoria armónica en el algoritmo de búsqueda armónica se realiza mediante un esquema de selección aleatoria junto con el concepto de mejor global de la optimización por enjambre de partículas, con el fin de acelerar la tasa de convergencia.

El resultado de esta técnica demostró que el método propuesto obtuvo cinco nuevos mejores resultados en términos de calidad de la solución y requisitos de tiempo.

### Combinando métodos

Un algoritmo de búsqueda armónica con una modificación en sus operadores, reemplazando la selección aleatoria con la selección del mejor global de la optimización por enjambre de partículas en el operador de consideración de memoria para mejorar la velocidad de convergencia.

Para desarrollar una utilización local en este método, se agregaron procedimientos de ajuste de múltiples pasos. El resultado de este método demostró que el algoritmo de búsqueda armónica tiene la capacidad de resolver el NRP utilizando el conjunto de datos INRC2010. Además,

Algoritmo híbrido de Colonia de Abejas Artificiales para abordar el NRP: El autor reemplazó la fase de abejas por el método de escalada de colina para aumentar la explotación.

Se han utilizado técnicas de programación entera para resolver el NRP. En este método propuesto se crearon dos solucionadores, que dependían respectivamente de Programación Lineal Mixta Entera (MILP) y Recocido Simulado. El primer solucionador se basó en el método exacto utilizando el solucionador MILP CPLEX (v. 12.5), mientras que el segundo solucionador se implementó utilizando EasyLocal++ (v.3).

La versión dinámica del NRP: Los investigadores agregaron una nueva expansión al problema en la versión de restricciones adicionales para abordar datos incompletos y utilizaron un modelo de programación entera para resolver el problema. El resultado experimental que utilizó este enfoque mostró una mejora en el resultado del modelo básico.

## Discusión final

Muchos investigadores han abordado este problema con diferentes técnicas, como métodos exactos, procedimientos heurísticos y metaheurísticas.

El problema de programación de enfermeras es un desafío de investigación abierto en el nivel operativo utilizando diversas aproximaciones de metaheurísticas. La hibridación de metaheurísticas con búsqueda local ha demostrado la capacidad para resolver el NRP debido a la capacidad para equilibrar la exploración y la explotación.

El problema de programación de enfermeras podría desarrollarse aún más teniendo en cuenta las condiciones de cada país. La integración entre la programación de enfermeras y otros problemas de atención médica, como la programación de pacientes y la programación de médicos, podría mejorar el rendimiento de la institución médica.

# Programación de la sala de operaciones

## Definición del problema

El quirófano juega un papel importante en el sector de la atención médica debido a su impacto significativo en el rendimiento del hospital. El quirófano requiere una combinación especial de personal y equipo.

El quirófano involucra los recursos necesarios para las cirugías, incluido el personal como enfermeras, cirujanos, anestesiólogos, entre otros, y también incluye facilidades como equipos, unidades de preparación preoperatoria, múltiples salas de operaciones, unidades de cuidados posanestésicos y cuidados intensivos.

La programación del quirófano se puede clasificar en diferentes niveles según el tipo de pacientes (electivos, emergencias), el nivel de decisión (corto, medio, largo plazo) o los procedimientos de gestión (programación de bloques, programación abierta o programación de bloques modificada).

El enfoque principal está en la programación a corto plazo del quirófano, que se divide en programación anticipada y programación de asignación.

## Formulación del problema

## Métodos de optimización

Los objetivos de este trabajo son maximizar el uso de las salas de operaciones y minimizar los gastos adicionales de tiempo extra en el teatro de operaciones, así como reducir al mínimo el tiempo de inactividad imprevisto entre los pacientes quirúrgicos.

El procedimiento de solución en este trabajo se divide en dos fases: la primera fase implica asignar una fecha específica a cada paciente para la cirugía, y los cirujanos tienen la libertad de asignar su caso en el bloque de tiempo.

El método propuesto se caracteriza por un modelo de programación entera basado en partición de conjuntos, y la solución se obtiene a través de un proceso heurístico basado en generación de columnas.

La segunda fase, que implica el problema de programación diaria, se describe como un modelo híbrido de flujo de trabajo en dos etapas, que se resuelve mediante un algoritmo genético híbrido, utilizando un procedimiento de búsqueda tabú para realizar una búsqueda local.

Se ha evaluado el método propuesto con diferentes horarios de cirugía reales basados en datos de hospitales universitarios belgas. Los resultados mostraron un menor tiempo de inactividad entre los casos quirúrgicos según los horarios de cirugía, además de un mayor uso de las salas de operaciones, con un tiempo extra mínimo.

n nuevo modelo estocástico de programación entera mixta en dos etapas para resolver los horarios de cirugía en múltiples salas de operaciones bajo incertidumbre. La idea principal en este trabajo observa la posibilidad de realizar numerosas operaciones simultáneamente, debido a la disponibilidad de varias salas de operaciones y al apoyo de otros cirujanos, especialmente del cirujano principal. Se describió el beneficio de compartir recursos entre los cirujanos.

## Discusión final

Debido a las altas restricciones, el problema no se puede resolver utilizando el método exacto. La incertidumbre en las técnicas de programación es la tarea más difícil y es más concreta, ya que la incertidumbre en el marco de tiempo es el tema más interesante.

La integración entre la programación de cirugías y otros problemas de atención médica podría proporcionar servicios de alta calidad y minimizar los costos adicionales de tiempo extra.

El desarrollo de un sistema de programación de atención médica con múltiples decisiones que combine la programación de cirugías, la planificación de salas de operaciones y la programación de médicos es mejor para abordar una situación de la vida real y equilibrar la utilización de los recursos del hospital.

# Otros problemas de atención médica

# Conclusión y futuras investigaciones

En este artículo de revisión, abordamos el problema de la programación en el ámbito de la atención médica como un problema de optimización. La programación en el ámbito de la atención médica se divide en dos tipos: personal y recursos.

El objetivo de todos los sistemas de programación desde el punto de vista de la optimización es reducir el costo y el tiempo de espera de los pacientes y maximizar la eficiencia de los recursos. La calidad de la solución depende de la función de costo que involucra la suma de las restricciones suaves.

esta revisión resumió todos los sistemas de programación en la atención médica, respaldados por algoritmos exitosos que han utilizado una amplia gama de metodologías de búsqueda. Observamos que varios sistemas sofisticados recientes han obtenido resultados significativos.

los principales algoritmos exitosos provienen de algoritmos inspirados en la naturaleza, que han demostrado su capacidad para resolver problemas N/P difíciles. Esto se debe a su capacidad para explorar el espacio de búsqueda, especialmente los algoritmos basados en enjambres.