

Trabajo de grado en modalidad de profundización

Metaheurística GRASP para el balanceo de carga de trabajo de médicos forenses

Maria Paula Millán Venegas ^{a,d}, Eliana Maria Gonzalez Neira ^{c,d},

Juan Pablo Caballero Villalobos ^{b,d}

^a*Estudiante de Maestría de Ingeniería Industrial*

^b*Profesora, Directora del Proyecto de Grado, Departamento de Ingeniería Industrial*

^c*Director Maestría Ingeniería Industrial, Director del Proyecto de Grado,
Departamento de Ingeniería Industrial*

^d*Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia*

Resumen

En este proyecto se da solución al problema de programación de turnos de los médicos forenses del Instituto de Medicina Legal, con el fin de minimizar la máxima diferencia de horas extras entre los médicos. Para ello se propone un modelo matemático de programación lineal entera mixta y posteriormente la metaheurística GRASP como métodos de solución. El algoritmo GRASP obtiene una solución de alta calidad en un tiempo computacional de 7 minutos, en tanto que el modelo matemático no puede resolver la instancia real en un tiempo de ejecución de 24 horas.

Palabras clave

Programación de turnos, GRASP, shift scheduling problem

1. Planteamiento del problema

1.1 Antecedentes

La gestión del talento humano del sector público en Colombia se ha trabajado desde el objetivo de “Enaltecer al servidor público y su valor” en la Función Pública, reconociendo que esto genera resultados en términos de la eficacia en la prestación de los servicios, con el fin de lograr unos servidores públicos dinámicos, versátiles, y capaces de sobreponerse a las dificultades para asumir los retos de la institución [1].

Dentro de la gestión del talento humano es importante establecer una igualdad en el tiempo de trabajo, soportado por la Organización Internacional de Trabajo (OIT) [2]. Esto implica un tiempo de trabajo saludable, productivo, conveniente para la familia, que garantice la igualdad de género y permita la elección e influencia del trabajador en su tiempo laboral, determinado por el marco jurídico y normativo de Colombia. El horario laboral tiene diferentes formas de organización: horas extraordinarias; trabajo por turnos, incluido trabajo nocturno y los fines de semana; sistema de trabajo parcial; horarios escalonados, semanas de

trabajo escalonadas; sistema de promediar horas; sistemas de tiempo ahorrado y de cuentas de ahorro del tiempo trabajado y trabajo compartido [2] que tiene implicaciones administrativas y personales para los trabajadores.

El trabajo por turnos se define como “una manera de organizar el tiempo de trabajo en que los trabajadores se van sucediendo en el lugar de trabajo; de tal modo que el establecimiento pueda funcionar más allá del horario laboral de cada trabajador en diferentes momentos del día” [2] pudiendo ser por un sistema de turnos fijos o turnos rotativos.

La rotación de turnos se caracteriza por tener dos variables que son: frecuencia de rotación y extensión del ciclo de rotación. La frecuencia indica que el trabajador puede cambiar de turno semanalmente o por periodos. La extensión del ciclo de rotación, que es el periodo para que un trabajador reanude la secuencia de días de trabajo. Además de esto, es necesario considerar la rapidez de rotación y la dirección de la rotación, pudiendo ser una rotación hacia adelante en dirección de las agujas del reloj o hacia atrás en dirección contraria a las manecillas del reloj. Este sistema de turnos es utilizado por el sector de la salud, comercial, de transporte, de las comunicaciones, manufactura, metalmecánica, de servicio civiles, de la construcción, de hidrocarburos y de servicios [3].

Dada la importancia de la programación de turnos de trabajos ésta se ha convertido en un objeto de estudio, debido a que el capital humano es un recurso clave y limitado. Esta situación no es ajena a las empresas, que al lograr una asignación óptima de turnos y cargas de trabajo lograrán cumplir con los requisitos de la demanda y evitarán sobrecostos elevados ocasionados por la deficiente utilización del recurso.

El problema de programación de turnos laboral se encuentra dentro de los problemas de programación de la producción (*scheduling*), clasificados como NP-hard debido a su naturaleza y complejidad. Este problema ha sido resuelto a través de métodos exactos, heurísticas o metaheurísticas dependiendo del tamaño y características particulares, involucrando a los trabajadores de la empresa, la demanda requerida y la legislación [4]. Dada la naturaleza NP-hard las instancias de gran tamaño son resueltas normalmente a través de métodos heurísticos y metaheurísticos.

En un inicio, se tuvo el objetivo de minimizar el costo cubriendo todos los turnos para satisfacer la demanda por Dantzig en 1954. Posteriormente, alrededor del año 1993, Brusco y Jacobs [4] propusieron un modelo para minimizar la cantidad de empleados requeridos de tiempo completo para satisfacer la demanda prevista, mediante una metaheurística de recocido simulado. Desde entonces se han realizado varias investigaciones e implementaciones de métodos exactos o metaheurísticas y a continuación mostraremos algunas de ellas y la metodología utilizada.

Dentro de las soluciones planteadas por diferentes autores, se encuentran modelos matemáticos que en su mayoría están acompañados de una heurística o metaheurística. A continuación, se describen algunos ejemplos y aplicaciones encontrados en la literatura que se ajustan a lo mencionado anteriormente.

Caprara, Monaci y Toth [5] presentan modelos matemáticos y algoritmos para solucionar una familia de problemas de asignación laboral “*staff scheduling problem*” para minimizar la cantidad de empleados que trabajan en un periodo determinado. La solución la descomponen en dos: la definición de la secuencia de los períodos de trabajo y descanso para cada empleado y la definición de la asignación diaria a realizar en cada periodo de trabajo. Los autores utilizaron programación dinámica y un algoritmo heurístico iterativo, capaz de determinar la solución óptima, involucrando una instancia de cientos de empleados y un periodo de 6 meses.

Talrico y Maya Duque [7] proponen una solución al problema de asignación laboral en una cadena de supermercados para garantizar un nivel de servicio satisfactorio. Como método de solución proponen una formulación matemática que garantiza la factibilidad de la solución y lo comparan con la solución obtenida con una metaheurística que combina una heurística de asignación con un modelo basado en el problema de cubrimiento de conjuntos.

Sungur, Ozguven y Kariper [9] presentan una solución a un problema de asignación de turnos laborales que implica múltiples descansos con diferentes duraciones y múltiples periodos de descanso para cada turno. El objetivo del proyecto fue minimizar los costos laborales, maximizar el número de empleados que reciben sus descansos en los periodos de descanso ideales y minimizar las desviaciones del tiempo de espera ideal entre descansos consecutivos. Como resultados, presentaron mejoras en los horarios de pausas sin un incremento en el costo laboral y un rendimiento bueno para los problemas de turnos múltiples.

Salem y Hanif [8] presentan una solución mediante algoritmos para un problema de asignación de empleados de una estación de gas con 86 puntos de atención y la particularidad de que cada uno de los empleados tiene una preferencia de días de descanso, de turnos y de lugar de trabajo, el objetivo de este problema fue minimizar la cantidad de trabajadores.

Shuib y Kamarudin [6] presentan una solución al problema de asignación laboral (*shift scheduling problem* (SSP)) mediante la formulación de un modelo entero-binario de programación por metas en el que se consideraron 43 empleados que trabajan en tres turnos (mañana, tarde, noche) con días de espera y de descanso durante 28 días.

Yilmaz [10] presenta un modelo de asignación de turnos de trabajo para enfermeras (*scheduling problem of nurses labor shifts*) estableciendo tres turnos de trabajo para garantizar una disponibilidad de 24 horas 7 días a la semana con un número determinado de enfermeras

Legrain, Bouarab y Lahrichi [11] presentan un algoritmo para realizar la asignación de turnos de trabajo de enfermeras luego de analizar varios métodos de programación en diferentes lugares, cuyos resultados comparan. Estas comparaciones son entre la típica asignación, Clerk, heurística y el modelo matemático

1.2 Justificación del problema

El Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses (INMLYCF) es una entidad adscrita a la Fiscalía General de la Nación, cuya misión es “Direccionar, prestar y controlar el servicio forense en todo el territorio nacional, soportado en el Sistema Único de Medicina Legal, el conocimiento técnico y científico innovador, y las tecnologías, optimizando el uso de recursos, para contribuir a la Justicia y a la convivencia social”[13], que por ser entidad colombiana, debe acatarse a las normas vigentes.

Dentro de los servicios que presta el INMLYCF se encuentra clínica forense, área de la Medicina Forense, que mediante la realización de exámenes médico legales, en personas vivas, busca estudiar y analizar el material probatorio útil a la investigación judicial de delitos sexuales, violencia intrafamiliar, de familia, maltrato infantil, eventos de tránsito, violencia común y valoración de casos que se investiguen por posibles ocurrencia de lesiones en relación con un tratamiento médico o quirúrgico [14].

De acuerdo con la estructura organizacional, el INMLYCF presta servicios en todo el territorio nacional dividido en 8 regionales. De estas ocho Direcciones Regionales, siete cuentan con las mismas dependencias organizacionales que son: Grupo Regional Administrativo y Financiero, Grupo Regional Clínica, Psiquiatría y Psicología Forense, Grupo Regional de Patología Forense, Grupo Regional de Ciencias Forenses, Direcciones Seccionales y Unidades Básicas, diferenciándose de la Regional Bogotá. En la Regional Bogotá, por características especiales, el servicio de clínica forense es prestado por el Grupo Regional de Clínica y las siete Unidades Básicas: UPJ Puente Aranda, Kennedy, Sede Central, Engativá, Delitos Sexuales, Casa de Justicia y Atención al Menor.

La prestación del servicio de clínica forense se da por el nivel profesional con el apoyo de los asistentes asignados a las dependencias. Estos funcionarios laboran de acuerdo con el horario laboral establecido por la Resolución 000488 del 2019, dando cumplimiento a la Ley 938 de 2004 y al Decreto 1042 de 1978. Esta normativa cuenta con cinco modalidades trabajo, que para el caso de Clínica Forense de la Regional Bogotá aplican las siguientes:

- Modalidad No. 2. Horario diurno de trabajo, de lunes a viernes, de seis (6) horas diarias de 7:00 am a 1:00 pm o de 1:00 pm a 7:00 pm más dos turnos diurnos de doce (12) horas cada uno, alternando un sábado con un domingo o con un festivo al mes, de 7:00 am a 7:00 pm con una (1) hora de almuerzo.
- Modalidad No. 5. Horario nocturno de turnos de trabajo habitual aplica únicamente para el Grupo de Clínica de la Dirección Regional Bogotá. Lunes a Domingo de doce (12) horas de 7:00 pm a 7:00 am, del día siguiente cada cuarta (4) noche.

Dentro de la normativa se menciona que el tiempo laborado de manera efectiva antes o después de cumplida las anteriores modalidades de turno se contará como tiempo extra, y será compensado acorde con lo establecido en el Decreto 1042 de 1978.

Esta programación de turnos la realiza el coordinador de la dependencia de manera manual, de acuerdo con de las necesidades del servicio y los casos particulares que cada

servidor va presentando en el mes, siempre respetando e intentando mantener una igualdad en horas trabajadas por los funcionarios. Para la elaboración de esta programación, el coordinador respeta los turnos (mañana, tarde o noche) de cada uno de los funcionarios y la unidad organizacional a laborar no cambia.

De acuerdo con una conversación sostenida con un experto en el tema del Instituto, cuyo nombre no puede ser divulgado por protección de datos, la asignación de turnos en clínica forense de esta regional ha sido un reto a lo largo de la historia. El problema radica en que el INMLYCF cuenta con una cantidad limitada de funcionarios para atender el servicio pericial, un presupuesto limitado para el pago de horas extras en dinero y una obligación con el estado en prestar adecuadamente el servicio, lo cual obliga a tener disponible una cantidad determinada de funcionarios públicos en cada unidad organizacional. Por lo tanto, se busca realizar el pago de las horas extras compensando el tiempo y a la vez asegurar la disponibilidad de los servidores públicos en los lugares de trabajo para atender los usuarios que son víctimas de situaciones de violencia en el país.

El hecho de que los servidores públicos trabajen con víctimas de la violencia en Colombia, trae una connotación especial en la salud mental de los trabajadores. Esta situación ha sido estudiada por el Ministerio de Justicia [15] haciendo referencia a las personas que trabajan en el Centro de Atención de las Víctimas de Abuso Sexual (CAIVAS) agrupado por representantes de la Fiscalía General de la Nación, Ministerio Público, Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, Instituto Colombiano de Bienestar Familiar y defensoría del Pueblo. Sin embargo, también aplica para los diferentes servicios que presta clínica forense del Instituto ya mencionados. El estudio presentado arroja como resultado un nivel de estrés de los trabajadores en una proporción de 78.56%, que no tiene en cuenta únicamente la intensidad horaria sino la naturaleza de la actividad que conlleva a un desgaste particular. En particular, se evidencia que el nivel estrés de los trabajadores en más de un 50% se debe a la alta carga laboral (35,46%) y las problemáticas de lo usuarios (14,89%), seguido por el nivel de responsabilidad de la naturaleza del empleo, la asistencia a juicio oral entre otros.

Asimismo, el experto en el tema afirma, con conocimiento más no con estudios que lo soporten, que es necesario que se roten los lugares de trabajo, ya que algunas unidades organizacionales por la naturaleza del servicio que se presta requieren de asistir más a juicio oral que otras unidades organizacionales y traen un mayor agotamiento profesional que es un riesgo psicosocial.

En cuanto a lo encontrado en los diferentes estudios dentro de la literatura, es destacable que el tipo de problema que se está planteando ha sido investigado a nivel internacional. Sin embargo, en el campo forense no hay estudios de programación específicos. En cuanto a la forma de desarrollar la programación, es viable manejar tanto métodos exactos como metaheurísticas iterativas.

1.3 Aporte de la investigación a la región o país

La programación de turnos de los médicos forenses del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses es un camino para cumplir con: i) el objetivo de la Función Pública

de “Enaltecer al servidor público”, su calidad de vida y salud mental y ii) una adecuada prestación del servicio del Instituto, que a su vez aporta directamente al proceso de administración de justicia, ya que sirve como ente reparador a las víctimas el poder presentar sus pruebas médico-legales a tiempo.

1.4 Coherencia con temática de la maestría

Los resultados de la programación de turnos laborales se encuentran direccionado con una de las áreas de investigación del Departamento de Ingeniería Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana y con la materia de postgrado “Optimización Avanzada”.

2. Objetivo General

2.1 Objetivo General:

Proponer un método de programación de turnos de trabajo con la modalidad de turnos rotativos de los funcionarios de la Regional Bogotá del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, para garantizar la prestación del servicio y una carga de trabajo equitativa.

2.2 Objetivos Específicos

- Formular un modelo matemático que permita caracterizar el problema de asignación de turnos de los médicos de la regional Bogotá del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.
- Diseñar un método de solución que permita realizar la programación de turnos de los médicos de la Regional Bogotá del INMLYCF.

3. Métodos y Metodología

3.1 Limitaciones

El problema cuenta con las siguientes limitaciones:

- No se cuenta con presupuesto económico para realizar un desarrollo, por lo que es necesario utilizar software libre o Microsoft Office.

3.2 Supuestos

Como todo problema, se tienen unos supuestos que se utilizarán en el desarrollo de la solución:

- Una vez se inicia el turno, no es posible interrumpirlo.
- Los funcionarios públicos durante el mes no presentan ninguna situación administrativa adicional a la originalmente presupuestada que implique reprogramar.
- Los requisitos en la cantidad de servidores públicos en las diferentes unidades organizacionales son las mismas todos los meses.
- Se aprueba la propuesta por parte del Instituto de incluir el turno nocturno para todos los servidores públicos de la unidad organizacional en mención.

3.3 Metodología

La metodología que se empleará en la investigación se encuentra diseñada de acuerdo con la normativa vigente. En la TABLA 1, presenta la relación entre cada uno de los objetivos, las actividades, las herramientas de Ingeniería Industrial a utilizar y el entregable.

Objetivo	Actividades	Pasos	Entregable
Formular un modelo matemático que permita caracterizar el problema de asignación de turnos de los médicos del Grupo de Clínica de la Regional Bogotá del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.	Plantear el modelo matemático	Definir las variables, parámetros y conjuntos del problema. Plantear la función objetivo. Plantear las restricciones del problema.	Modelo matemático del problema de programación de turnos del personal del Grupo de Clínica de la Regional Bogotá
Diseñar un método de solución que permita realizar la programación de turnos de los médicos de la Regional Bogotá del INMLYCF.	Desarrollar la heurística o metaheurística que mejor se ajuste.	Realizar una revisión bibliográfica de la aplicación de soluciones para estos tipos de problemas. Definir la heurística o metaheurística. Definir las variables, parámetros y demás características de la heurística o metaheurística. Desarrollar el método de solución en el lenguaje de programación de Visual Basic de Microsoft Excel	Heurística o Metaheurística como solución del problema.

4. Modelo matemático de programación lineal para la programación de turnos de médicos forenses

En esta sección se propone un modelo matemático de programación lineal entera mixta para encontrar asignación de médicos forenses que minimice la diferencia de horas extras entre los médicos, para balancear las cargas de trabajo, cumpliendo con las siguientes condiciones:

- Las unidades organizacionales K para la correcta prestación del servicio requieren una cantidad mínima de funcionarios públicos J en cada turno L y cada día I.
- Los funcionarios públicos J pueden ser asignados únicamente por día a un turno y a una Unidad Organizacional.
- Debe hacerse una programación mensual de turnos de acuerdo con la Resolución 00451 de 2019, o de la que la derogue, de lunes a viernes y dos veces al mes alternando sábado o domingo.
- Todos los funcionarios deben tener asignado por lo menos 1 turno nocturno al mes.
- Se deben compensar la mayor cantidad de días por funcionario en reconocimiento a las horas extras trabajadas.
- Se debe cumplir con el horario laboral de acuerdo con la normativa vigente: Decreto 1042 de 1978 art 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40 y los lineamientos institucionales Resolución 00451 de 2019, o la que la derogue, de la siguiente manera:

Cuando por razones especiales del servicio fuere necesario realizar trabajos en horas distintas de la jornada ordinaria de labor, el jefe del respectivo organismo o las personas en quienes este hubiere delegado tal atribución, autorizarán descanso compensatorio o pago de horas extras. El pago de horas extras o el reconocimiento del descanso compensatorio se sujetarán a los siguientes requisitos:

- a. El reconocimiento del tiempo de trabajo suplementario se liquidará con un recargo del veinticinco por ciento (25%) recompensado.
- b. Las horas extras en días dominicales o festivos se liquidará con un recargo del 100%.
- c. Las horas nocturnas ordinarias se liquida con un recargo del 35% recompensado
- d. Las horas extras nocturnas se compensará con un recargo del setenta y cinco (75%) en tiempo compensado

- e. En ningún caso podrán pagarse mensualmente por el total de horas extras, dominicales y festivos más del 50% de la remuneración mensual de cada servidor.

4.1 Modelo Matemático

Conjuntos

- I*: Funcionarios públicos ($1, 2, 3, 4, 5 \dots N$)
J: Días del mes ($1, 2, 3, 4 \dots 30$)
K: Unidades organizacionales ("UPJ", "Granja", "Ciudad Bolívar", "Kennedy", "UBAM", "Delitos Sexuales", "Centro")
L: Turnos ("nocturnoEntreSemana", "Entre semana mañana", "Entre semana tarde", "Sábado", "Dominical", "NocturnoDominical")
F: Tipos de días de la semana ("Entre semana", "sábado", "dominical")
C: Tipo de pago de las horas extras ("Compensado", "Dinero")

Parámetros

Parámetro	Tipo	Descripción del parámetro
$FPUO_{min_{kl}}$	Cantidad	Mínimo de funcionarios públicos requeridos en la unidad organizacional $k \in K$ en cada turno $l \in L$
$FPUO_{max_{kl}}$	Cantidad	Máximo de funcionarios públicos requeridos en la unidad organizacional $k \in K$ en cada turno $l \in L$
DT_{il}	Binario	1 si el funcionario público $i \in I$ está contratado para laborar en el turno $l \in L$, 0 DLC
PHE_l	Cantidad	Factor de multiplicación por hora trabajada en el turno $l \in L$
HL_l	Cantidad	Horas laboradas por un funcionario público diariamente en el turno $l \in L$
NSA_{ij}	Binario	1 si el funcionario público $i \in I$ no tiene ninguna situación administrativa en el día $j \in J$, o DLC
B_{jf}	Binario	1 si el día $j \in J$ está incluido en la categoría de día tipo $f \in F$
G_{lf}	Binario	1 si el turno $l \in L$ está incluido en la categoría de día tipo $f \in F$
$Alfa_{j,l}$		
$Beta_{j,l}$	Binario	1 si el día $j \in J$ le puedo dar compensatorio a un funcionario en el turno $l \in L$, 0 DLC

Variables de decisión

Variable	Tipo	Descripción de variable
$x_{ijkl} \geq 0$	Binario	Si el funcionario público $i \in I$ es asignado el día $j \in J$ a la unidad organizacional $k \in K$ en el turno $l \in L$
$Pasa_{ijl} \geq 0$	Binario	1 si la persona $i \in I$ en el día $j \in J$ en el turno $l \in L$ supera las 240 Horas semanales - 0 DLC
$H TT_i \geq 0$	Doble	Horas Trabajadas del funcionario público $i \in I$
$H ET_i \geq 0$	Doble	Horas extras totales del funcionario público $i \in I$
$H NT_i \geq 0$	Doble	Horas que no trabajo el funcionario público $i \in I$
$H EP_i \geq 0$	Doble	Horas extra pagadas al funcionario público $i \in I$
$H EC_i \geq 0$	Doble	Horas extras pagadas en compensatorios al funcionario público $i \in I$
$DC_{ijl} \geq 0$	Binario	1 si al funcionario público $i \in I$ le doy el día $j \in J$ en el turno $l \in L$ como compensatorio
$MaxDif$	Doble	Máxima diferencia de horas extras trabajadas entre los funcionarios
$STHE_i \geq 0$	Binario	1 si el funcionario público $i \in I$ tiene horas extras

Función Objetivo

$$\text{Minimizar } Z = \text{MaxDif} \quad (1)$$

Restricciones

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} x_{ijkl} \leq 1 \quad i \in I, j \in J \quad (2)$$

$$x_{ijkl} \leq DT_{il} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L \quad (3)$$

$$x_{ijkl} \leq NSA_{ij} \quad \forall i \in I, j \in J, k \in K, l \in L \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijkl} \geq FPUO_{min,l,k} * Alfa_{j,l} \quad j \in J, k \in K, l \in L, f \in F \quad (5)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijkl} \leq FPUO_{max,l,k} * Alfa_{j,l} \quad j \in J, k \in K, l \in L, f \in F \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} x_{ijkl} * HL_l - \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} x_{iijkl} * HL_l \leq MaxDif \quad \forall i \in I, ii \text{ in } I/i <> ii \quad (7)$$

$$\sum_{j \in J} \sum_{l \in L, l = \text{nocturnoEntreSemana, nocturnoDominical}} \sum_{k \in K} x_{ijkl} \leq 2 \quad \forall i \in I \quad (8)$$

$$HTT_l = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} \sum_{k \in K} x_{ijkl} * HL_l \quad \forall i \in I \quad (9)$$

$$HTT_l - 240 = HET_l - HNT_l \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$HET_l = HEP_l + HEC_l \quad \forall i \in I \quad (11)$$

$$HEC_l = \sum_{j \in J} \sum_{l \in L} DC_{ijl} * 6 \quad \forall i \in I \quad (12)$$

$$DC_{ijl} + \sum_{k \in K} x_{ijkl} \leq 1 \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (13)$$

$$HET_l \leq STHE_l * 10000 \quad \forall i \in I \quad (14)$$

$$HNT_l \leq (1 - STHE_l) * 10000 \quad \forall i \in I \quad (15)$$

$$DC_{ijl} \leq Beta_{jl} \quad \forall i \in I, j \in J, l \in L \quad (16)$$

La función objetivo (1) minimiza la máxima diferencia de horas extras trabajadas entre los funcionarios para balancear la carga laboral. La restricción (2) garantiza que cada funcionario sea asignado solo a una unidad organizacional por turno en cada día. La ecuación (3) asegura que los funcionarios públicos no sean asignados a los turnos que no están contratados. La restricción (4) asegura que los funcionarios públicos que se encuentren en situación administrativa no sean asignados. La restricción (5) garantiza que las unidades organizacionales por turno y por día cuenten con un mínimo de funcionarios públicos trabajando. La restricción (6) garantiza que las unidades organizacionales por turno y por día cuenten con un máximo de funcionarios públicos trabajando. La ecuación (7) calcula la diferencia en las horas extras entre los funcionarios. La restricción (8) permite máximo dos turnos nocturnos al mes por funcionario. La ecuación (9) calcula las horas extras totales trabajadas por cada funcionario público. La restricción (10) permite calcular las horas extras o no laboradas por cada funcionario público. La restricción (11) relaciona las horas extras con las horas extras que se pagan en dinero y las horas extras que se compensan en tiempo. La ecuación (12) garantiza que las horas extras con compensatorio deban tener un día y turno asignado. La ecuación (13) asegura que no se asigne en un día de compensatorio turno de trabajo. La restricción (14) garantiza que si no hay horas laboradas las horas extras no se cuenten. La restricción (15) asegura que si no hay horas laboradas las horas extras no se

cuenten. La restricción (16) garantiza que no se asignen compensatorios en los turnos no permitidos.

5. Metaheurística GRASP para la programación de turnos de médicos forenses

5.1 Metaheurística GRASP

El algoritmo *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures* (GRASP) [16][17] es una metaheurística iterativa multi-arranque, en donde cada iteración consta de dos fases: construcción y búsqueda local. La primera fase consta de construir una solución factible al problema utilizando cada uno de los elementos. La segunda fase parte de la solución factible obtenida en la primera fase, y mediante la exploración de la vecindad se encuentran nuevas soluciones hasta encontrar el óptimo local.

Este método ha sido utilizado para solucionar diversos problemas tales como: *Vertex Bisection Minimization* [18], diseño en redes de tránsito rápido [19], asignación de horarios en empresas de demanda variable [20], entre otros.

En la Figura 1 se muestra el pseudocódigo de GRASP presentado por Resende y Ribeiro [16], teniendo en cuenta un número máximo de iteraciones (*Max_Iteraciones*) y generando un número aleatorio como semilla:

```
Procedure GRASP (Max_Iteraciones,Semilla)
1  Leer_Input();
2  For  $k = 1 \dots \text{Max\_Iteraciones}$ ,Semilla do
3    If Solución es no factible then
4      Solución ;
5    end;
6    Solución  Búsqueda_Local (Solución)
7    Actualizar Solución (Solución, Mejor_Solución)
8  End;
9  Return Mejor_Solución;
End GRASP
```

Figura 1. Procedimiento GRASP (Tomado de Resende y Ribeiro [16])

En la fase de construcción, se evalúa el costo incremental o la utilidad de cada uno de los elementos, según la función seleccionada. De éstos se eligen el $\alpha\%$ de elementos con mejor costo incremental para conformar la lista restringida de candidatos (RCL, por sus siglas en inglés). De la RCL se elige un elemento de forma aleatoria para formar parte de la solución y se actualiza la lista de elementos no programados. Luego se repite el cálculo del costo incremental de los elementos no programados, se construye de nuevo la RCL y se elige otro elemento para la solución. Esto se repite hasta que todos los elementos hagan parte de la solución. En la fase de búsqueda local se exploran las soluciones adyacentes hasta encontrar un óptimo local.

5.1 Fase de Construcción GRASP para el problema de asignación de turnos

5.1.1 Asignación de los dos (2) turnos (sábado y domingo alternado) reglamentado por resolución.

Es importante realizar la asignación de los fines de semana reglamentados por el Instituto, de acuerdo con la normativa laboral nacional. De esta manera, se realiza inicialmente una asignación de los dos turnos diurnos de doce (12) horas cada uno, alternando un sábado con un domingo o con un festivo al mes con una (1) hora de almuerzo y no puede ser modificada durante el mes, mientras no se encuentre dentro de una situación administrativa.

Para esta asignación de turnos laborales se toman los siguientes datos de entrada:

- Número de servidores públicos.
- Unidades básicas de la Regional Bogotá activas.
- Situaciones administrativas de cada uno de los funcionarios públicos.
- Días del mes diferenciados por sábado o dominicales (domingo o festivos).

Para verificar la factibilidad de la asignación, se desarrollan unas tareas e indicadores encargados de no permitir la asignación de más de los días de fines de semana límite (según la normativa). Adicionalmente, estos se encargan de asegurar que no se asigne un empleado a un horario en el que él se encuentre en situación administrativa, la cual está definida como “las diferentes circunstancias en las que pueden encontrarse los servidores de la Fiscalía General de la Nación y de sus entidades adscritas, en virtud de su relación legal y reglamentaria” [21].

La asignación inicial finaliza cuando todos los servidores cuentan con la asignación de los dos turnos diurnos en los casos alternando un sábado con un domingo o con un festivo, siempre y cuando sea factible.

5.1.2 Asignación de los demás turnos de trabajo de los días sábado, domingo o festivos y turnos nocturnos faltantes.

Para realizar la asignación de los turnos faltantes, se parte de la programación del paso anterior y así se respetan y cumplen con los lineamientos establecidos por el instituto. La presente asignación se realiza tomando los siguientes datos de entrada:

- Número de servidores públicos disponibles.
- Unidades básicas de la Regional Bogotá activas.
- Situaciones administrativas de cada uno de los funcionarios públicos.
- Días del mes diferenciados por sábado o dominicales (domingo o festivos).

- Asignación de los dos (2) turnos (sábado y domingo alternado) reglamentado por resolución programado anteriormente.
- Requisito mínimo y máximo de cada una de las unidades básicas.

Con estos datos se realiza la asignación de la programación del sábado, domingo y festivos faltantes, de acuerdo con los requerimientos de cada unidad organizacional, utilizando un algoritmo GRASP elaborado de la siguiente manera.

En primer lugar, se calcula la función de utilidad f para el j -ésimo candidato siempre y cuando sea factible para ser asignado el i -ésimo día en la k -ésima unidad organizacional y en el l -ésimo turno, de acuerdo con lo explicado anteriormente, expresado de la siguiente manera:

$$f = \frac{w_i}{240}$$

Donde w_i son las horas extras laboradas mensualmente y 240 son las horas promedio que se trabajan al mes, utilizadas administrativamente para las cuentas contables.

Con las funciones de utilidad calculadas de los funcionarios que pueden ser asignados se procede a ordenarlos de menor a mayor. Con el vector de función de utilidad ordenado, se construye la lista de candidatos restringidos (RCL). Esta RCL es construida desde el mejor elemento del vector hasta el $\alpha\%$, previamente seleccionado.

De manera explicativa, para el día n se cuenta con 10 funcionarios públicos que pueden ser asignados al turno k . Por lo tanto, para cada uno se calcula la función de utilidad y se ordena de menor a mayor. Al tener el vector ordenado, se determina el $\alpha\%$ que en este ejemplo es del 30%. Con este $\alpha\%$ se calcula el límite que tendrá la RCL, es decir, 15.73%, que como resultado se obtiene una RCL de 5 funcionarios públicos, tal como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Función de utilidad ordenada de menor a mayor

F2	F6	F1	F10	F7
12,1%	12,1%	12,1%	12,1%	15,0%

Fuente: Elaboración propia

Una vez se tiene la RCL construida, de manera aleatoria se asigna el funcionario público al turno y día específico y se repite este procedimiento hasta completar la totalidad de la asignación de los turnos, de acuerdo con los requisitos mínimos de personas por unidad organizacional.

5.1.3 Asignación de las compensaciones por horas extras.

Una vez se tiene la asignación completa de los turnos nocturnos y los turnos de los fines de semana, se procede a asignar los días que se van a compensar, de acuerdo con las horas extras que haya trabajado el funcionario. La finalidad de realizar esta asignación de los días de compensación en este punto es: (i) garantizar un mayor pago de horas extras en tiempo a los servidores públicos, en vez de hacerlo en dinero por cuestiones de presupuesto de la entidad, (ii) mediante la compensación de horas extras se trabaja la salud mental del funcionarios y (iii) tener un panorama claro de la disponibilidad de funcionarios públicos para realizar la asignación de los turnos entre semana y poder garantizar la adecuada prestación del servicio.

Esta asignación de compensatorios tiene como requisito poder cumplir con todos los requisitos de personal entre semana. Por lo tanto, primero se realiza un conteo por cada día del número de funcionarios que no se encuentran en alguna situación administrativa y no tienen asignación o compensatorio por turno nocturno.

Luego de que se tiene claro el número de funcionarios disponibles entre semana por cada día, se inicia la asignación de los días compensatorios de acuerdo con las horas extras que acumularon en la asignación de los turnos en los fines de semana y respetando el mínimo de funcionarios necesarios en las unidades organizacionales Tabla 2.

Tabla 2. Ejemplo de asignación de compensaciones por horas extras

	Funcionario 1	Funcionario 8	Funcionario 10
1/06/2020	UPJNocturno		
2/06/2020	COMPENSATORIO		
3/06/2020	COMPENSATORIO		
4/06/2020	COMPENSATORIO	UBAMNocturno	
5/06/2020		COMPENSATORIO	
6/06/2020	UPJSabado	UBAMSabado	UBAMSabado
7/06/2020			UPJNocturno
8/06/2020		COMPENSATORIO	COMPENSATORIO
9/06/2020		COMPENSATORIO	COMPENSATORIO
10/06/2020			COMPENSATORIO

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Asignación de los turnos entre semana.

Por último, se asignan los turnos entre semana teniendo como entrada los mismos datos que se han utilizado y la metodología GRASP explicada con anterioridad. Adicionalmente, se tiene en cuenta el criterio de rotación entre lugares de trabajo, como se observa en la Tabla 3, los funcionarios deben ir rotando de unidad básica cuyas ventajas son: (i) mitigación de en la salud mental del funcionario público y (ii) nivelación en la carga laboral en cuanto a las asistencias a los juzgados que algunas unidades básicas demandan más que otras.

Tabla 3. Ejemplo de asignación entre semana

Tipo días	Día semana	Fecha	Funcionario 25	Funcionario 27	Funcionario 30
Entre semana	Lunes	1/06/2020	CentroMañana	UPJTarde	KennedyTarde
Entre semana	Martes	2/06/2020	CentroMañana	UPJTarde	KennedyTarde
Entre semana	Miércoles	3/06/2020	CentroMañana	UPJTarde	KennedyTarde
Entre semana	Jueves	4/06/2020	CentroMañana	UPJTarde	KennedyTarde
Entre semana	Viernes	5/06/2020	CentroMañana	UPJTarde	KennedyTarde
Sábado	Sábado	6/06/2020			
Dominical	Domingo	7/06/2020			
Entre semana	Lunes	8/06/2020	UBAMMañana	KennedyTarde	UPJTarde
Entre semana	Martes	9/06/2020	UBAMMañana	KennedyTarde	UPJTarde
Entre semana	Miércoles	10/06/2020	UBAMMañana	KennedyTarde	UPJTarde
Entre semana	Jueves	11/06/2020	UBAMMañana	KennedyTarde	UPJTarde
Entre semana	Viernes	12/06/2020	UBAMMañana	KennedyTarde	UPJTarde
Sábado	Sábado	13/06/2020	KennedySabado	UBAMSabado	Delitos SexualesSabado

Fuente: Elaboración propia

5.2 Fase de búsqueda local GRASP para el problema de asignación de turnos

En la fase de búsqueda local, el objetivo es buscar una mejor solución mediante la elección aleatoria de dos elementos que son intercambiados de posición. Para este caso los turnos de dos funcionarios se intercambian. Al intercambiar de posición, se calcula nuevamente la función objetivo y en el caso de que no mejore la solución, no se concluye el intercambio. Este proceso se realiza hasta que la solución no mejore después de una cantidad de iteraciones determinada.

6. Resultados

En esta sección se presentan los resultados del modelo matemático y la metaheurística GRASP.

6.1 Resultados del modelo matemático

El modelo matemático fue implementado en el software libre Gusek que utiliza el lenguaje de programación GLPK en un computador con un procesador Intel ® Core ™ i5-4200 CPU @ 1.60 GHz con una memoria de 8 GB.

En primer lugar, se probó el modelo matemático para la instancia real mencionada para la programación de los turnos de 30 días, tal como es requisito. Sin embargo, no se encontró ninguna solución después de dejar un tiempo de 14 días de ejecución. En segundo lugar, al no obtener resultados para la programación de 30 días, se ajustó la instancia a 15 días de programación, en donde la solución óptima fue encontrada en un tiempo de ejecución de 120

horas, aunque el programa arroja una primera solución factible a los 27 minutos. Finalmente, se ajustó la instancia a una programación de 8 días encontrando la primera solución factible a los 116 segundos y la solución óptima a las 24 horas de ejecución.

A pesar de poder obtener una solución con 15 días, no es viable hacer un análisis, pues la programación, debido a las características de contratación de los servidores públicos y la naturaleza del trabajo, exige que sea únicamente de manera mensual.

Sin embargo, se muestran los resultados para 8 días, con el fin de poder ver la factibilidad del problema, donde 53 funcionarios públicos trabajan 1550 horas, que en 30 días serían aproximadamente 5812 horas laboradas, y en las tablas 4,5 y 6 se observa el cumplimiento de las especificaciones propias del problema.

Tabla 4. Programación de un día entre semana

Dia	Unidad Organizacional	Turno	Asignacion
1	Centro	Entre semana mañana	4
1	Centro	Entre semana tarde	4
1	Ciudad Bolivar	Entre semana mañana	1
1	Delitos Sexuales	Entre semana mañana	1
1	Granja	Entre semana mañana	1
1	Kennedy	Entre semana mañana	1
1	Kennedy	Entre semana tarde	1
1	UBAM	Entre semana mañana	4
1	UBAM	Entre semana tarde	4
1	UBAM	nocturnoEntreSemana	1
1	UPJ	Entre semana mañana	4
1	UPJ	Entre semana tarde	4
1	UPJ	nocturnoEntreSemana	1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Programación de turno del sábado

Dia	Unidad Organizacional	Turno	Asignación
6	Centro	Sábado	4
6	Ciudad Bolivar	Sábado	1
6	Delitos Sexuales	Sábado	1
6	Granja	Sábado	1
6	Kennedy	Sábado	1
6	UBAM	Sábado	4
6	UPJ	Sábado	4

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6. Programación de turno del domingo

Día	Unidad Organizacional	Turno	Asignación
7	Centro	Dominical	4
7	Ciudad Bolívar	Dominical	1
7	Delitos Sexuales	Dominical	1
7	Granja	Dominical	1
7	Kennedy	Dominical	1
7	UBAM	Dominical	4
7	UBAM	NocturnoDominical	1
7	UPJ	Dominical	4
7	UPJ	NocturnoDominical	1

Fuente: Elaboración propia

Dado que el modelo matemático, de acuerdo con lo expuesto anteriormente, es pesado y no arroja soluciones mensuales en un tiempo considerable, se podría plantear la posibilidad de dividir el modelo en semanas, sin embargo, por temas legales los funcionarios deben conocer al inicio del mes su programación de turnos. Por lo tanto, al realizar la programación semanal o quincenalmente se estaría incurriendo en un riesgo legal para el Instituto, pues dentro de la Ley 1010 2006 de acoso laboral, la carga excesiva y los cambios permanentes de horario pueden ser parte de una persecución laboral.

Por lo cual se planteó resolver la programación de turnos mediante un algoritmo GRASP que se presenta en este documento, cuyos resultados encuentran a continuación.

6.2 Resultados del GRASP propuesto para la programación de turnos de los médicos forenses en instancias reales (30 días laborales)

El GRASP fue probado con tres instancias reales que se diferencian en la cantidad de funcionarios públicos {45, 50, 53}. Las instancias constan de: 7 unidades organizacionales Tabla 7, requisitos mínimos y máximos de funcionarios públicos por unidad organizacional y turno Tabla 8 y Tabla 9, situaciones administrativas reales del mes de noviembre con (3) tres funcionarios públicos en vacaciones, salarios del 2020, y un máximo de 55 funcionarios.

Tabla 7. Unidades organizacionales donde se presta el servicio pericial en la Regional Bogotá en el Intituto Nacional de Medicina Legal

Unidades Organizacionales	
1	UPJ
2	Granja
3	Ciudad Bolívar
4	Kennedy
5	UBAM
6	Delitos Sexuales
7	Centro

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Requisitos mínimos de funcionarios públicos por unidad organizacional y turno

Requisitos mínimos de funcionarios públicos por unidad organizacional y turno							
	UPJ	Granja	Ciudad Bolívar	Kennedy	UBAM	Delitos Sexuales	Centro
Nocturno entre semana	1	0	0	0	1	0	0
Entre semana mañana	4	1	1	1	4	1	4
Entre semana tarde	4	0	0	1	4	0	4
Sábado	4	1	1	1	4	1	4
Domingo	4	1	1	1	4	1	4
Nocturno domingo	1	0	0	0	1	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Requisito máximo de funcionarios públicos por unidad organizacional y turno

Requisito máximo de funcionarios públicos por unidad organizacional y turno							
	UPJ	Granja	Ciudad Bolívar	Kennedy	UBAM	Delitos Sexuales	Centro
Nocturno entre semana	1	0	0	0	1	0	0
Entre semana mañana	4	1	1	1	4	1	1000
Entre semana tarde	4	0	0	1	4	0	1000
sábado	4	1	1	1	4	1	1000
Domingo	4	1	1	1	4	1	1000
Nocturno domingo	1	0	0	0	1	0	0

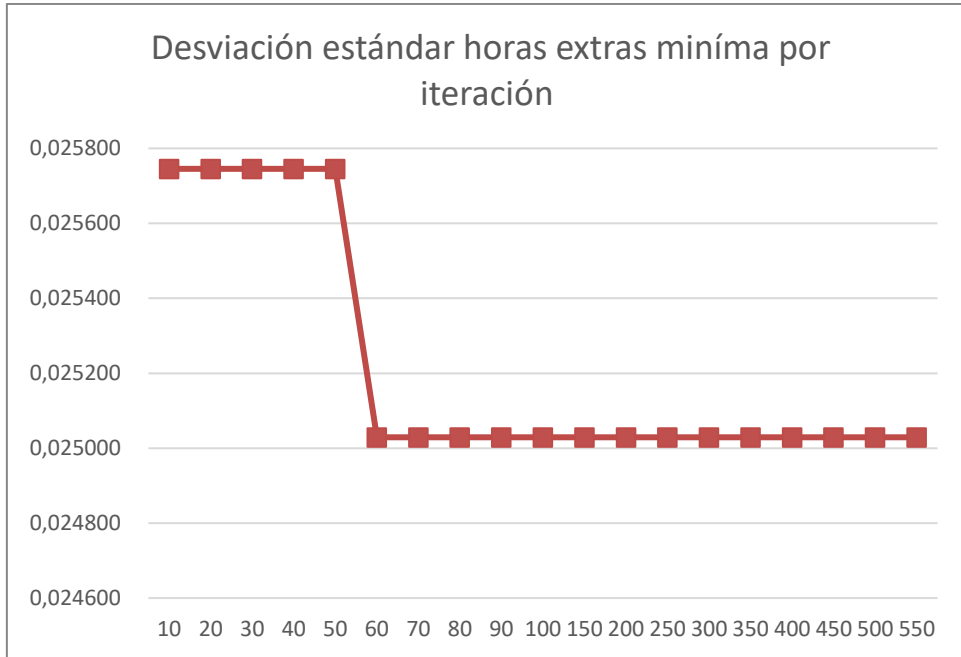
Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos se expondrán de la siguiente manera: en primer lugar, los resultados obtenidos por el GRASP en cuanto a la estabilidad de la metaheurística con los diferentes valores del parámetro α , los valores de número de iteraciones e instancias y el número de horas extras, desviación estándar de horas extras, costo de horas extras y costos de horas compensadas.

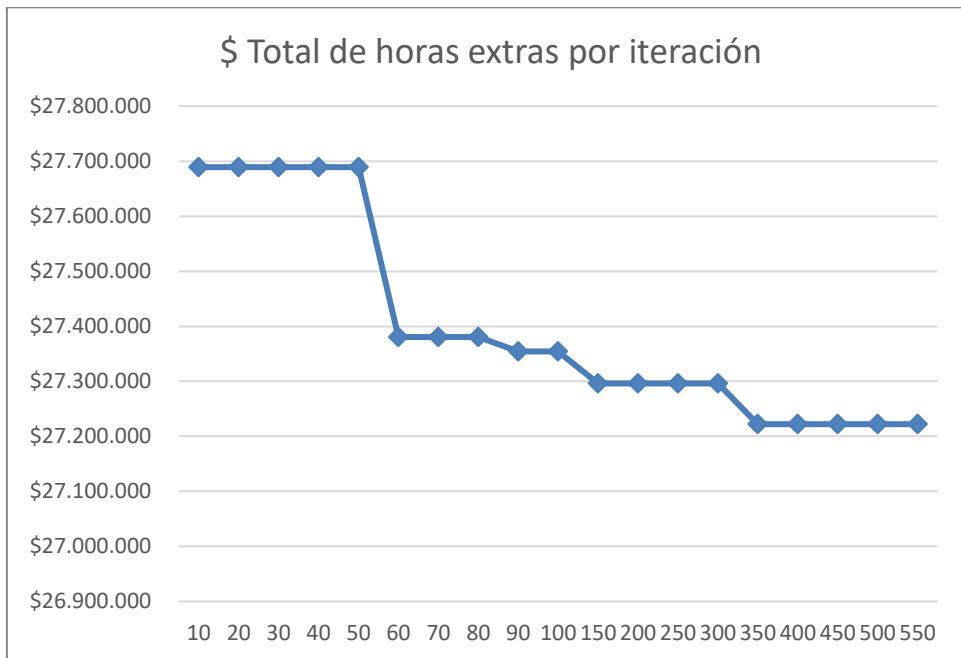
Para determinar cual es la iteración más apropiada para poder obtener los mejores resultados del GRASP se ejecutó 100 veces para diferentes iteraciones desde 10 hasta 550. En cada iteración se midió la desviación estándar de las horas extras mínimas por iteración (Gráfico 1), valor en pesos del total de horas extras por iteración (Gráfico 2), valor en pesos de horas extras pagadas en dinero por iteración (Gráfico 3) y valor en pesos de horas extras pagadas en tiempo por iteración (Gráfico 4).

De la desviación estándar de las horas extras mínimas por iteración (Gráfico 1) se observa que a partir de la iteración 60 se estabiliza el resultado con una desviación estándar de 0,025029 y de la misma manera disminuye el valor en pesos del total de horas extras (gráfico 2), el valor de pesos de las horas extras pagadas en dinero (Gráfico 3) y en tiempo (Gráfico 4), valores que se encuentran en la tabla 10.

Es importante mencionar que 24 iteraciones demoran 1 hora, por lo tanto, una solución buena y estable se demora aproximadamente 2 horas y media, y debido a que es un proceso mensual es viable de realizar.



*Gráfico 1. Desviación estándar horas extras mínima por instancias
Fuente: Elaboración propia*



*Gráfico 2. \$ Total de horas extras por instancias
Fuente: Elaboración propia*

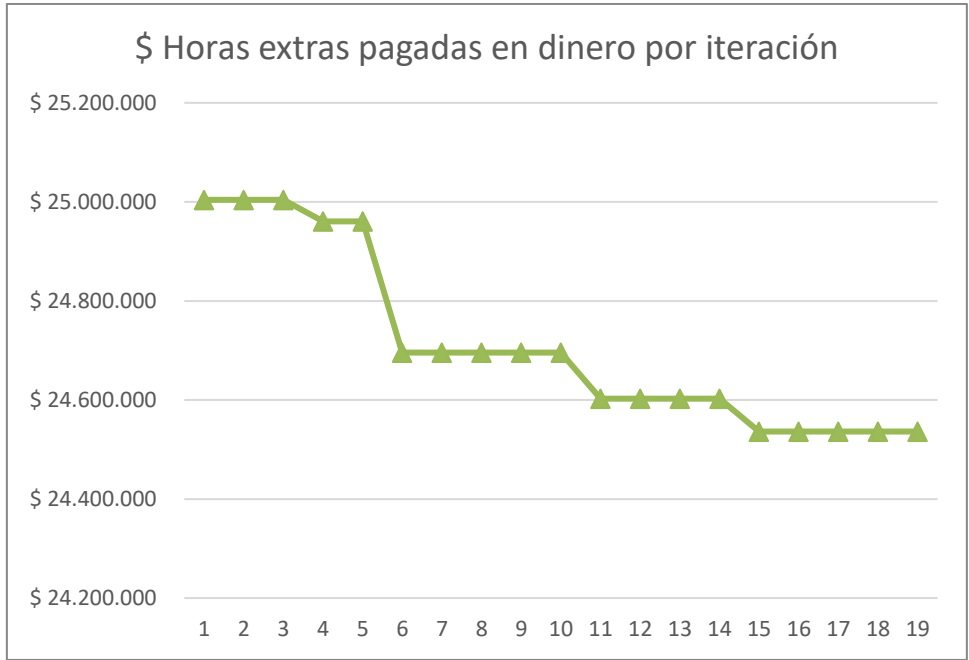


Gráfico 3. \$ Horas extras pagadas en dinero por instancias.
Fuente: Elaboración propia

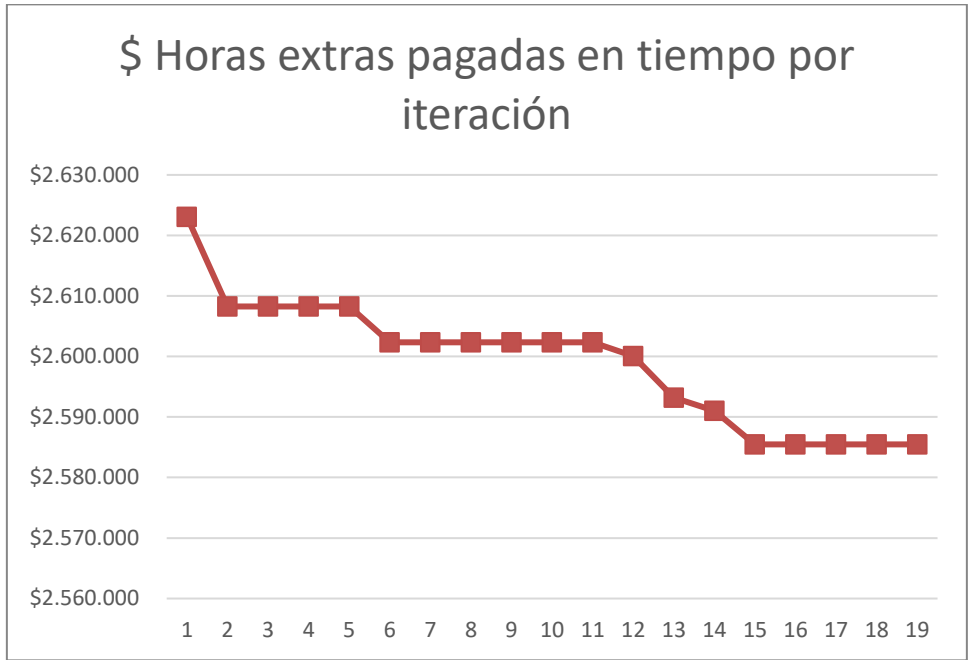


Gráfico 4. \$ Horas extras pagadas en tiempo por instancias.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Resumen de resultados del GRASP con las diferentes instancias

Inst.	Desviación estándar horas extras mínima	Desviación estándar máxima	\$ Total horas extras mínimo	\$ Horas extras pagas mínimo	\$ Horas compensadas mínimo
10	0,025746	3,0124%	\$ 27.689.289	\$ 2.623.075	\$ 25.004.166
20	0,025746	3,0124%	\$ 27.689.289	\$ 2.608.275	\$ 25.004.166
30	0,025746	3,0124%	\$ 27.689.289	\$ 2.608.275	\$ 25.004.166
40	0,025746	3,3462%	\$ 27.689.289	\$ 2.608.275	\$ 24.960.882
50	0,025746	3,3462%	\$ 27.689.289	\$ 2.608.275	\$ 24.960.882
60	0,025029	3,3462%	\$ 27.380.747	\$ 2.602.313	\$ 24.695.818
70	0,025029	3,3462%	\$ 27.380.747	\$ 2.602.313	\$ 24.695.818
80	0,025029	3,3462%	\$ 27.380.747	\$ 2.602.313	\$ 24.695.818
90	0,025029	3,3462%	\$ 27.354.261	\$ 2.602.313	\$ 24.695.817
100	0,025029	3,3462%	\$ 27.354.261	\$ 2.602.313	\$ 24.695.817
150	0,025029	3,3462%	\$ 27.296.346	\$ 2.602.313	\$ 24.602.668
200	0,025029	3,3462%	\$ 27.296.346	\$ 2.600.077	\$ 24.602.668
250	0,025029	3,3462%	\$ 27.296.346	\$ 2.593.176	\$ 24.602.668
300	0,025029	3,3462%	\$ 27.296.346	\$ 2.591.030	\$ 24.602.668
350	0,025029	3,3462%	\$ 27.222.146	\$ 2.585.471	\$ 24.536.278
400	0,025029	3,3462%	\$ 27.222.146	\$ 2.585.471	\$ 24.536.278
450	0,025029	3,3462%	\$ 27.222.146	\$ 2.585.471	\$ 24.536.278
500	0,025029	3,3462%	\$ 27.222.146	\$ 2.585.471	\$ 24.536.278
550	0,025029	3,3462%	\$ 27.222.146	\$ 2.585.471	\$ 24.536.278

Fuente: Elaboración propia

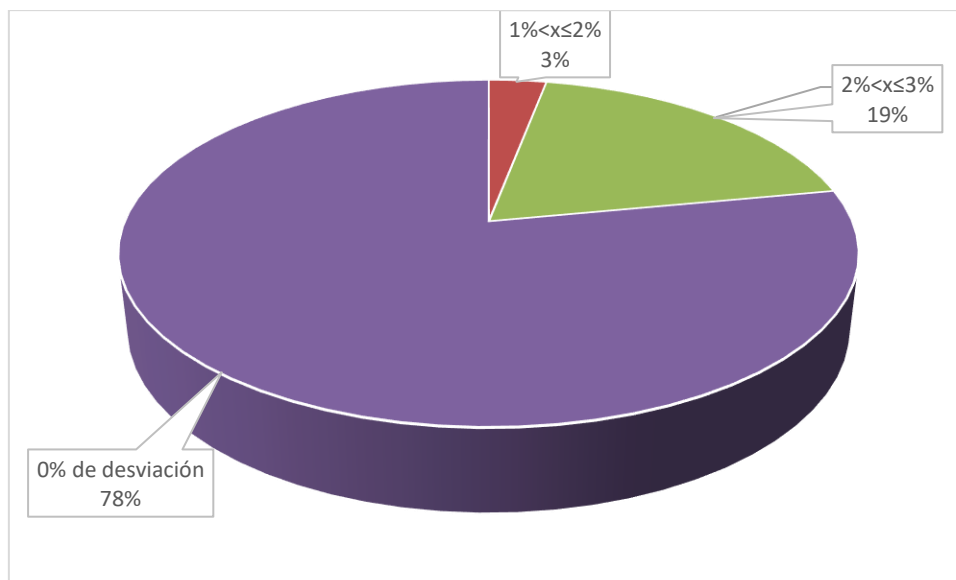
Teniendo el número de iteración donde el GRASP se estabiliza {60}, se midió la desviación de la función objetivo respecto al mejor valor encontrado del GRASP que fue ejecutado 100 veces para cada una de las instancias con dos valores del parámetro α {10%,50% }.

En las gráficas 5,6 y 7 se muestran las 100 ejecuciones para la iteración de 60 agrupadas en (4) cuatro rangos: óptimo, mayor a 0% y menor o igual a 1%, mayor a 1% y menor 2%, y mayor a 2% y menor o igual a 3%.

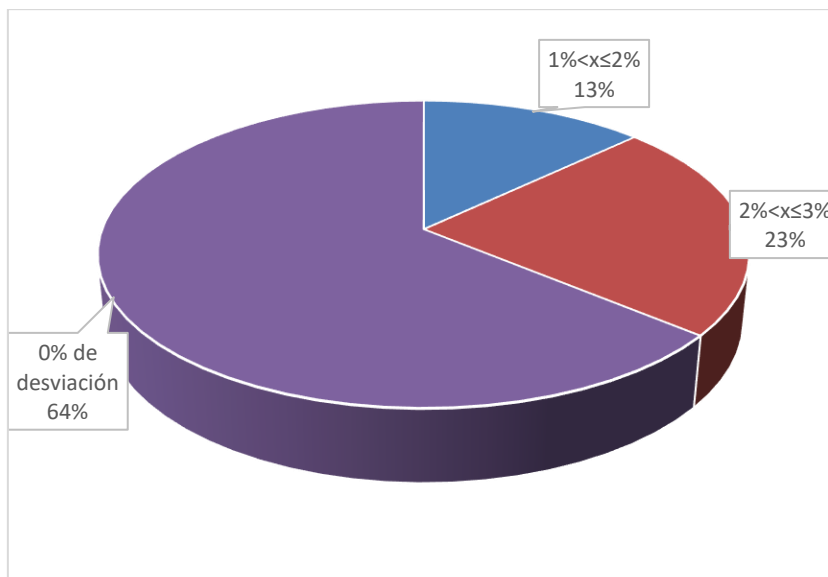
Se observa de las 100 ejecuciones realizadas con 60 iteraciones que hay una posibilidad del 78% de los casos la solución da más baja encontrada por el GRASP con 53 médicos forenses, de 64% con 50 médicos forenses y 60% con 45 médicos forenses.

Respecto al equilibrio en las horas extras trabajadas de los médicos forenses, se pudo observar que a medida que se encuentren disponibles menos recursos humanos en la unidad organizacional mayor diferencia de horas extras va a existir. Para el problema con 53 médicos forenses y una iteración de 60, se encontró que la desviación estándar de las horas extras

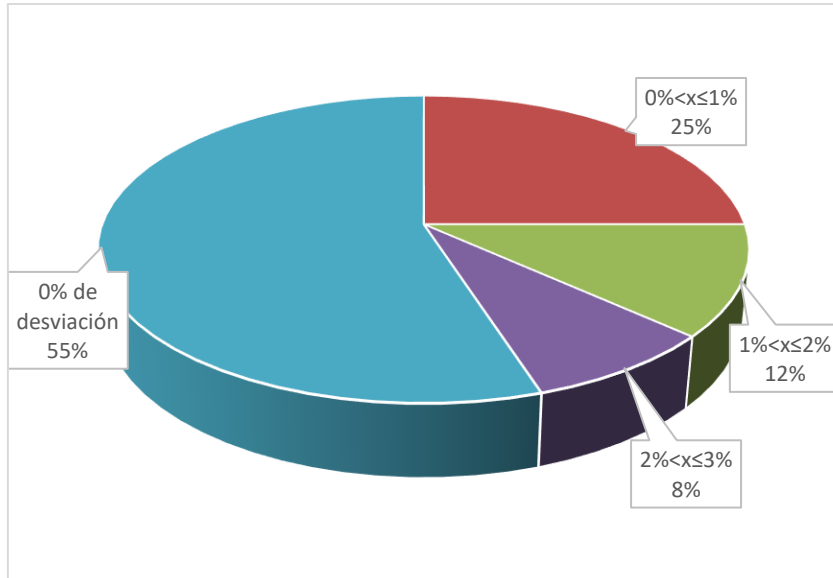
trabajadas óptima encontrada es de 0.025 mientras que, para la misma situación con 50 y 45 médicos forenses, respectivamente, es de 0.0336 y 0.04001



Gráfica 1. Calidad de secuencias encontradas en GRASP para 53 servidores públicos para iteración 100.
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 2. Calidad de secuencias encontradas en GRASP para 50 servidores públicos para iteración 100.
Fuente: Elaboración propia



Gráfica 3. Calidad de secuencias encontradas en GRASP para 45 servidores públicos para iteración 100.
Fuente: Elaboración propia

Por último, el aplicativo diseñado en Excel se puede observar en la imagen 1.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17	F18	F19	F20
Lunes	01/06/2020	UP.Nocturno	UBAM.Nocturno	COMPENSI	COMPENSI	UP.Mañana	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSATORIO	COMPENSI	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBolivar	Mañana	KennedyMi	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAM
Martes	02/06/2020	COMPENSI	COMPENSI	UP.Nocturno	UBAM.Nocturno	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSATORIO	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSATORIO	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAM
Miércoles	03/06/2020	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	UP.Nocturno	UBAM.Nocturno	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBolivar	Mañana	Mañana	Mañana	COMPENSI	COMPENSI	KennedyMi	UBAM
Jueves	04/06/2020	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	UP.Nocturno	UBAM.Nocturno	UP.Mañana	UP.Mañana	COMPENSI	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	Mañana	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	UBAM
Viernes	05/06/2020	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSATORIO	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBolivar	Mañana	KennedyMi	UBAMMañ.	UP.Nocturno	UBAM
Sabado	06/06/2020	UP.Sabado	UP.Sabado	UP.Sabado	UP.Sabado	GranjaSabi	CiudadBoli	KennedySi	UBAMSabado	UBAMSab.	UBAMSabi	UBAMSabi	DelitosSexi	CentroSabi	CentroSabado		CentroSabi	CentroSabado		
Domingo	07/06/2020									UP.Nocturno	UBAM.Nocturno									
Lunes	08/06/2020	GranjaMañ.	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSATORIO	COMPENSI	COMPENSI	UP.Nocturno	UBAM.Nocturno	UP.Mañana	CiudadBolivar	Mañana	KennedyMi	UBAMMañ.	COMPENSI	COMP
Martes	09/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	COMPENSI	COMPENSATORIO	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	UP.Nocturno	UBAM.Nocturno		KennedyMi	UBAMMañ.	COMPENSI	COMP
Miércoles	10/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSI	COMPENSATORIO	UP.Nocturno	UBAM.Nocturno		UP.Nocturno	UBAM.Nocturno	COMPENSI	COMP
Jueves	11/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañana		CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	Centro
Viernes	12/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	DelitosSexi	COMPENSI	COMPENSATORIO		COMPENSI	COMPENSI	UBAMMañ.	Delitos
Sabado	13/06/2020																			UP.Nocturno
Domingo	14/06/2020	UP.Domingo	UP.Domingo	GranjaDom.	CiudadBolivar	Domingo		KennedyDc	UBAMDomingo		UBAMDomingo		UBAMDomi	UBAMDomi	DelitosSexuales	Domingo	CentroDom	CentroDomingo		
Lunes	15/06/2020	GranjaMañ.	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañana		COMPENSI	COMPENSI	CentroMañ.
Martes	16/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañana		CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	Centro
Miércoles	17/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañana		CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	Centro
Jueves	18/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañana		CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	Centro
Viernes	19/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañana	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañana		CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	Centro
Sabado	20/06/2020									UP.Nocturno										UP.Nocturno
Domingo	21/06/2020	UP.Domingo	UP.Domingo	UP.Domingo	UP.Domingo	GranjaDom	CiudadBoli	KennedyDc	UBAMDomingo	DelitosSexi	UBAMDomi	UBAMDomi	UBAMDomingo		CentroDom	CentroDomingo		CentroDom	CentroDomingo	
Lunes	22/06/2020	GranjaMañ.	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	COMPENSI	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañana	DelitosSexi	CentroMañ.	COMPENSI	COMPENSI	CentroMañ.	CentroMañ.
Martes	23/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	COMPENSI	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañana	DelitosSexi	CentroMañ.	COMPENSI	CentroMañ.	CentroMañana	Centro	Centro
Miércoles	24/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	COMPENSI	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañana	DelitosSexi	CentroMañ.	COMPENSI	CentroMañ.	CentroMañana	Centro	Centro
Jueves	25/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	COMPENSI	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañana	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañana		CentroMañ.	CentroMañana	Centro
Viernes	26/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	COMPENSI	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañana	DelitosSexuales	Mañana	CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañana	Centro
Sabado	27/06/2020					GranjaSabi	DelitosSexuales	Nocturno												UP.Nocturno
Domingo	28/06/2020																			UP.Nocturno
Lunes	29/06/2020	GranjaMañ.	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	COMPENSI	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	UP.Nocturno	UBAMMañ.	UBAMMañana	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañana	Centro
Martes	30/06/2020	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	UP.Mañana	GranjaMañ.	CiudadBoli	KennedyMi	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañ.	UBAMMañana	DelitosSexi	CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañ.	CentroMañana	Centro	Centro

Imagen 1. Pantalla final de la programación de turnos en excel
Fuente: Elaboración propia

El computador que se utilizó cuenta con un procesador Intel ® Core™ i5-4200 CPU @ 1.60 GHz con una memoria de 8 GB.

Tabla 11. Resultados instancia 53 servidores públicos instancia 60

Ejecución	M.R	GRASP	Desv. %	Ejecución.	M.R	GRASP	Desv. %
1	0,026	-	0% de desviación	31	0,033	-	0% de desviación
2	0,026	0,143	2% < x <= 3%	32	0,026	-	0% de desviación
3	0,026	-	0% de desviación	33	0,026	-	0% de desviación
4	0,026	0,143	2% < x <= 3%	34	0,030	-	0% de desviación
5	0,026	-	0% de desviación	35	0,026	0,000	0% de desviación

Ejecución	M.R	GRASP	Desv. %	Ejecución.	M.R	GRASP	Desv. %
6	0,030	-	0% de desviación	36	0,030	-	0% de desviación
7	0,026	-	0% de desviación	37	0,026	-	0% de desviación
8	0,026	0,024	1%<x≤2%	38	0,030	-	0% de desviación
9	0,030	-	0% de desviación	39	0,026	-	0% de desviación
10	0,026	0,000	0% de desviación	40	0,026	-	0% de desviación
11	0,026	-	0% de desviación	41	0,026	-	0% de desviación
12	0,026	-	0% de desviación	42	0,026	0,122	2%<x≤3%
13	0,026	0,143	2%<x≤3%	43	0,026	-	0% de desviación
14	0,026	0,000	0% de desviación	44	0,026	-	0% de desviación
15	0,026	0,122	2%<x≤3%	45	0,026	-	0% de desviación
16	0,026	-	0% de desviación	46	0,030	0,000	0% de desviación
17	0,026	0,143	2%<x≤3%	47	0,026	0,000	0% de desviación
18	0,026	0,000	0% de desviación	48	0,026	-	0% de desviación
19	0,030	-	0% de desviación	49	0,026	-	0% de desviación
20	0,026	-	0% de desviación	50	0,030	-	0% de desviación
21	0,026	0,000	0% de desviación	51	0,026	0,143	2%<x≤3%
22	0,026	0,143	2%<x≤3%	52	0,030	-	0% de desviación
23	0,030	-	0% de desviación	53	0,026	-	0% de desviación
24	0,026	-	0% de desviación	54	0,026	-	0% de desviación
25	0,026	0,000	0% de desviación	55	0,026	0,000	0% de desviación
26	0,026	-	0% de desviación	56	0,026	0,170	2%<x≤3%
27	0,026	-	0% de desviación	57	0,026	-	0% de desviación
28	0,026	0,000	0% de desviación	58	0,026	0,143	2%<x≤3%
29	0,026	-	0% de desviación	59	0,026	-	0% de desviación
30	0,026	0,143	2%<x≤3%	60	0,025	0,053	2%<x≤3%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 12. Resultados instancia 50 servidores públicos instancia 60

Ejecución	M.R	GRASP	Desv. %	Ejecución.	M.R	GRASP	Desv. %
1	0,038	0,039	1%<x≤2%	31	0,039	0,034	0% de desviación
2	0,039	0,034	0% de desviación	32	0,038	0,039	1%<x≤2%
3	0,038	0,034	0% de desviación	33	0,039	0,034	0% de desviación
4	0,034	0,038	2%<x≤3%	34	0,039	0,039	0% de desviación
5	0,039	0,034	0% de desviación	35	0,034	0,038	2%<x≤3%
6	0,034	0,039	2%<x≤3%	36	0,038	0,039	1%<x≤2%
7	0,034	0,038	2%<x≤3%	37	0,038	0,038	0% de desviación
8	0,034	0,034	0% de desviación	38	0,039	0,039	0% de desviación
9	0,038	0,034	0% de desviación	39	0,038	0,039	1%<x≤2%
10	0,039	0,039	0% de desviación	40	0,039	0,039	0% de desviación
11	0,039	0,039	0% de desviación	41	0,038	0,038	0% de desviación
12	0,034	0,038	2%<x≤3%	42	0,039	0,034	0% de desviación

Ejecución	M.R	GRASP	Desv. %	Ejecución.	M.R	GRASP	Desv. %
13	0,038	0,038	0% de desviación	43	0,039	0,034	0% de desviación
14	0,038	0,038	0% de desviación	44	0,038	0,038	0% de desviación
15	0,034	0,034	0% de desviación	45	0,039	0,038	0% de desviación
16	0,034	0,034	0% de desviación	46	0,038	0,039	1%<x≤2%
17	0,038	0,034	0% de desviación	47	0,034	0,038	2%<x≤3%
18	0,034	0,039	2%<x≤3%	48	0,038	0,039	1%<x≤2%
19	0,038	0,039	1%<x≤2%	49	0,034	0,034	0% de desviación
20	0,039	0,034	0% de desviación	50	0,038	0,038	0% de desviación
21	0,034	0,038	2%<x≤3%	51	0,034	0,038	2%<x≤3%
22	0,039	0,034	0% de desviación	52	0,038	0,039	1%<x≤2%
23	0,034	0,034	0% de desviación	53	0,038	0,034	0% de desviación
24	0,034	0,038	2%<x≤3%	54	0,038	0,038	0% de desviación
25	0,034	0,039	2%<x≤3%	55	0,039	0,034	0% de desviación
26	0,039	0,039	0% de desviación	56	0,039	0,038	0% de desviación
27	0,039	0,038	0% de desviación	57	0,038	0,039	1%<x≤2%
28	0,034	0,034	0% de desviación	58	0,039	0,039	0% de desviación
29	0,034	0,038	2%<x≤3%	59	0,038	0,038	0% de desviación
30	0,039	0,038	0% de desviación	60	0,034	0,039	2%<x≤3%

Fuente: Elaboración propia

Tabla 13. Resultados instancia 45 servidores públicos instancia 60

Ejecución	M.R	GRASP	Desv. %	Ejecución.	M.R	GRASP	Desv. %
1	0,0404	0,0412	0%<x≤1%	31	0,0408	0,0401	0% de desviación
2	0,0400	0,0404	0%<x≤1%	32	0,0400	0,0407	0%<x≤1%
3	0,0421	0,0411	0% de desviación	33	0,0406	0,0419	2%<x≤3%
4	0,0419	0,0410	0% de desviación	34	0,0404	0,0410	0%<x≤1%
5	0,0407	0,0404	0% de desviación	35	0,0410	0,0420	1%<x≤2%
6	0,0402	0,0418	2%<x≤3%	36	0,0419	0,0408	0% de desviación
7	0,0407	0,0401	0% de desviación	37	0,0404	0,0408	0%<x≤1%
8	0,0416	0,0407	0% de desviación	38	0,0414	0,0400	0% de desviación
9	0,0409	0,0406	0% de desviación	39	0,0417	0,0409	0% de desviación
10	0,0417	0,0411	0% de desviación	40	0,0406	0,0403	0% de desviación
11	0,0420	0,0421	0% de desviación	41	0,0419	0,0418	0% de desviación
12	0,0419	0,0406	0% de desviación	42	0,0421	0,0408	0% de desviación
13	0,0415	0,0422	0%<x≤1%	43	0,0400	0,0411	1%<x≤2%
14	0,0408	0,0418	1%<x≤2%	44	0,0412	0,0414	0%<x≤1%
15	0,0408	0,0410	0% de desviación	45	0,0402	0,0421	2%<x≤3%
16	0,0412	0,0403	0% de desviación	46	0,0401	0,0421	2%<x≤3%
17	0,0407	0,0414	0%<x≤1%	47	0,0420	0,0402	0% de desviación
18	0,0409	0,0420	1%<x≤2%	48	0,0409	0,0418	1%<x≤2%
19	0,0402	0,0409	0%<x≤1%	49	0,0411	0,0414	0%<x≤1%

Ejecución	M.R	GRASP	Desv. %	Ejecución.	M.R	GRASP	Desv. %
20	0,0422	0,0404	0% de desviación	50	0,0420	0,0421	0% de desviación
21	0,0413	0,0413	0% de desviación	51	0,0413	0,0403	0% de desviación
22	0,0407	0,0402	0% de desviación	52	0,0421	0,0417	0% de desviación
23	0,0422	0,0401	0% de desviación	53	0,0406	0,0404	0% de desviación
24	0,0416	0,0407	0% de desviación	54	0,0402	0,0415	2%<x≤3%
25	0,0418	0,0420	0% de desviación	55	0,0401	0,0412	1%<x≤2%
26	0,0407	0,0416	1%<x≤2%	56	0,0421	0,0420	0% de desviación
27	0,0400	0,0405	0%<x≤1%	57	0,0402	0,0410	0%<x≤1%
28	0,0404	0,0409	0%<x≤1%	58	0,0414	0,0418	0%<x≤1%
29	0,0418	0,0417	0% de desviación	59	0,0412	0,0406	0% de desviación
30	0,0400	0,0404	0%<x≤1%	60	0,0402	0,0403	0% de desviación

Fuente: Elaboración propia

En cuanto a los resultados propios del GRASP, con un total de 53 funcionarios públicos se requiere 1294 horas extras al mes para cumplir con los requisitos mínimos y máximos de funcionarios públicos por unidad organizacional y turno (Tabla 14), lo que significarían en promedio 6 funcionarios adicionales, que representan mínimo \$30.000.000 mensuales. Sin embargo, es importante mencionar que la entidad, de acuerdo con un estudio de cargas y perfiles, requiere a nivel nacional 327 cargos adicionales y no tiene la facilidad de contratar funcionarios públicos por presupuesto.

Del GRASP, adicionalmente es posible indicar que el promedio de desviación estándar de horas extras es del 0,0269 mientras que la real es de 0,1046, siendo una diferencia significativa en equidad de trabajo y carga mental. Sin embargo, mientras que no se cuenten con los recursos humanos necesarios para cubrir la totalidad de los turnos, no va a ser posible baja a 0 la desviación estándar.

Finalmente, de los resultados arrojados por el GRASP, se logró disminuir en promedio \$5.410.124 el total de horas extras respecto al promedio de horas extras real. Sin embargo, la diferencia importante esta en el promedio en dinero de horas extras pagadas reales a las arrojadas por el GRASP que en promedio es de \$16.753.678 mensualmente.

Tabla 14. Comparación resultados GRASP con INMLYCF

	GRASP	INMLYCF
N° funcionarios	53	53
Total horas extras	1294,5	1294,5
Promedio total horas extras compensadas	1176	619
Promedio total horas extras pagas	118,5	675,5
Promedio desviación estandar horas extras	0,0269	0,1046
Promedio \$ Total horas extras	\$ 28.117.396	\$ 33.527.520
Promedio \$ Horas extras pagas	\$ 2.696.853	\$ 19.450.531
Promedio \$ Horas compensadas	\$ 25.420.543	\$ 14.076.989

Fuente: Elaboración Propia

En cuanto al resultado arrojado por el GRASP, se observa que se trabajaron 5883 horas durante el mes, que, al compararlo con las 5812 horas aproximadas del modelo matemático, da un resultado cercano al óptimo.

7. Conclusiones y trabajo futuro

En este proyecto se resuelve la asignación de turnos de médicos forenses durante 30 días para el Instituto de Medicina legal y Ciencias Forenses. En primera instancia se presenta un modelo matemático de programación lineal entera mixta para solucionar el problema. Dado que el problema no puede ser solucionado de manera óptima en un tiempo computacional razonable, se propone una metaheurística GRASP para su solución. El GRASP se implementó en Visual Basic para Aplicaciones de Microsoft Excel con el fin de posibilitar una fácil implementación en el Instituto.

El GRASP se resuelve en un tiempo de 7 minutos para la instancia real de un mes y se ejecutó el GRASP con diferentes valores del parámetro voraz y número de iteraciones hallando la desviación porcentual respecto a la mejor solución obtenida por el mismo GRASP en la instancia real. Esta desviación no es mayor al 3% mostrando estabilidad en la calidad de las soluciones dadas.

Como recomendación, es importante que en caso de tener vacantes en la unidad organizacional de Clínica de la Regional Bogotá o de la posibilidad de contar con un recurso humano extra, se evalúe económicamente lo que representaría el salario mensual del funcionario contra el valor de las horas extras que se causarían por falta de este recurso, siempre teniendo como principal objetivo asegurar y cuidar la salud mental de los funcionarios mediante el control del tiempo que trabajan. De manera adicional, se tiene una programación de turnos laborales que permite la rotación del lugar de trabajo para cada funcionario, para así lograr mitigar la carga laboral y carga mental que genera algunos de estas unidades organizacionales.

Como trabajo futuro se puede aplicar otra metaheurística que permita lograr el objetivo, para así poder comparar resultados e implementar el que mejor se ajuste. Adicionalmente, queda abierta la posibilidad de implementar esta programación de turnos a las diferentes unidades organizacionales de cada regional y ajustarlo con las características propias.

8. Tabla de Anexos o Apéndices

Anexo 1

	Año	Lugar	Autor	Título	Método de solución del problema
[4]	2014	Ingeniería y competitividad	Raúl Mencía Cascallana	Modeling the labor scheduling problem considering wellbeing for the clinic`s employees	Presenta un modelo de programación lineal entera mixta para programar los turnos de trabajo de 24 personas repartidas en 3 turnos de 6 horas cada uno, que trabajan en las unidades de cuidado intensivo (ICU) y área de cuidado intermedio (IC) en el sector de la salud, cumpliendo con un total de 48 horas laboradas por semana, permitiendo

	Año	Lugar	Autor	Título	Método de solución del problema
					un máximo de 3 personas por noche y máximo por persona 1 turno nocturno a la semana.
[22]	2013	Universidad la Sabana	Diego Fernando Quintero Moncada	Diseño de un modelo de asignación de turnos para la operación de sistemas de transporte masivo tipo BRT	Presenta un modelo matemático de generación de turnos de trabajo basado en un modelo set covering problem utilizando el algoritmo Branch & Price con generación de columnas para la asignación de conductores en una empresa de transporte masivo de pasajeros con la característica de rotación de conductores por semana
[23]	2019	Universidad Javeriana	Katherine Moreno Caicedo	Modelación para la programación de personal en empresas de consultoría, auditoría e interventoría	Se presenta una solución aplicando WSRP para N tareas, N recursos, tiempos de servicios determinísticos combinado con un algoritmo genético.
[24]	2012	ScienceDirect	M. Krishnamoorthy, A.T. Ernst, D. Baatar	Algorithms for large scale Shift Minimisation Personnel Task Scheduling Problem	Presenta una solución para el problema de programación de tareas de personal (PTSP) denominada problema de programación de tareas de minimización de turnos (SMPTPS)
[7]	2015	ScienceDirect	Luca Talrico, Pablo Andrés Maya Duque	An optimization algorithm for the workforce management in a retail chain	Presenta una solución híbrida de la combinación de un problema WFMP que se reformula utilizando un problema de set covering problema (SCP) y una metaheurística de búsqueda local iterada donde se busca decidir el tipo y la cantidad de turnos requeridos por turno con el fin de subir los niveles de servicio de los clientes, que mejora la solución inicial mediante “variable neighbourhood descend” (VND)
[25]	2018	SciencieDirect	Garaix, T., Gondran, M., Lacomme, P., Mura, E., Tchernev, N.	Workforce Scheduling Linear Programming Formulation	Presenta un modelo lineal basado en workforce scheduling and routing problem WSRP para minimizar costos de desplazamientos, maximizar las preferencias de los trabajadores, minimizar el número total de tareas asignadas por trabajador, aplicado a 177 personas con 1077 tareas
[26]	2018	ScienceDirect	Hojati, Mehran	A greedy heuristic for shift minimization personnel task scheduling problem	Presentan “Shift minimization personnel task scheduling problem (SMPTSP) para minimizer el número total de trabajadores en cada turno y “Greedy heuristics method” cuyo comportamiento es bueno en estos tipos de problemas
[27]	2020	ScienceDirect	Kletzander, Lucas Musliu, Nysret	Solving the general employee	Propone un nuevo marco para el problema general de programación de empleados que permite la implementación de varios algoritmos

	Año	Lugar	Autor	Título	Método de solución del problema
				scheduling problem	heurísticos y su aplicación a una amplia gama de problemas
[28]	2007	ScienceDirect	Moz, Margarida Vaz Pato, Margarida	A genetic algorithm approach to a nurse rostering problem	Se propone una solución mediante rostering problema y un algoritmo genético, para un hospital que opera 24 horas y maneja 3 turnos (mañana, tarde y nocturna) con el fin de programar mensualmente los turnos.
[29]	2008	Ingeniare. Revista chilena de ingeniería	Rojas, Lorena Pradenas Tapia, Samuel Hidalgo Castillo, Magdalena Jensen	Asignación de supervisores forestales. Resolución mediante un algoritmo Tabu search	En este estudio se presenta un modelo matemático para un problema genérico de asignación de personal. Se implementa y evalúa un procedimiento de solución mediante la metaheurística Tabu Search. El algoritmo propuesto es usado para resolver un caso real de asignación de supervisores forestales. Los resultados muestran que el algoritmo desarrollado es eficiente en la resolución de este tipo de problema y tiene un amplio rango de aplicación para otras situaciones reales.
[30]	2009	ScienceDirect	Puente, Javier Gómez, Alberto Fernández, Isabel Priore, Paolo	Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms	Se propone una solución de algoritmo genético para el problema "Medical doctor rostering" que tiene una combinación de condiciones que complejizan la solución

Anexo 2

/* Conjuntos */

```

set I:={1..53}; /*funcionarios públicos {1,2,3...N} */
set J:={1..8}; /* días {1,2,3,...30} */
set K:={"UPJ","Granja","Ciudad Bolivar","Kennedy","UBAM","Delitos Sexuales","Centro"};
/* unidades organizacionales {1: UPJ, 2: Granja, 3: Ciudad Bolivar, 4: Kennedy, 5: UBAM, 6: Delitos Sexuales, 7: Nivel Central} */
set L:={"nocturnoEntreSemana","Entre semana mañana", "Entre semana tarde", "Sábado","Dominical","NocturnoDominical"}; /* Turnos {1: nocturnoEntreSemana, 2: Entre semana mañana, 3: Entre semana tarde, 4, Sábado, 5 Dominical, 6. NocturnoDominical, 7 compensatorio} */
set F:={"Entre semana", "sabado", "dominical"}; /*Tipos de días de la semana {1: entre semana, 2: sábado, 3: dominical} */
set C:={"Compensado", "Dinero"}; /*Tipo de pago de las horas extras {1: compensado, 2: en dinero} */

```

/* Parametros */

```

param FPUOmin{L,K}; /* Funcionarios públicos mínimos requeridos por la unidad organizacional k e K en el turno l e L */

```

```

param FPUOmax{L,K}; /* Funcionarios públicos maximos requeridos por la unidad organizacional k e K en
el turno l e L */
param DT{I,L}; /* 1 si el funcionario público i e I labora en el turno l e L, 0 si no */
param PHE{L}; /* Factor de multiplicación por hora trabajada en el turno l e L */
param HL{L}; /* horas laboradas por un funcionario diariamente en el turno l e L */
param NSA{I,J}; /* 1 si el funcionario público i e I no tiene ninguna situación administrativa en el día j e J
, 0 DLC */
param B{J,F}; /* 1 si el día j e J está incluido en la categoría de día tipo f e F, 0 dl */
param G{F,L}; /* 1 si el turno l e L incluido en la categoría de día tipo f e F, 0 dl */
param Alfa{J,L};
param Beta{J,L}; # 1 si el día j e J le puedo dar compensatorio a un funcionario en el turno l e L - 0 DLC
param Salario{I}; /* salario del funcionario público i e I */

/* Variables */
var x{I,J,K,L} >= 0 binary; /* 1 si el funcionario público i e I es asignado el día j e J a la unidad organizacional
k e K en el turno l e L */
var Pasa{I,J,L} >= 0; # 1 si la persona i e I en el día j e J en el turno l e L supero las 240 Horas semanales - 0
DLC
var HTT{I} >= 0; # Horas Trabajadas del funcionario público i e I
var HET{I} >= 0; # Horas extras totales del funcionario público i e I
var HNT{I} >= 0; # Horas que no trabajo el funcionario público i e I
var HEP{I} >= 0; # Horas extra pagadas al funcionario público i e I
var HEC{I} >= 0; # Horas extras pagadas en compensatorios al funcionario público i e I
var DC{I,J,L} binary; # 1 si al funcionario público i e I le doy el día j e J en el turno l e L como compensatorio
var MaxDif;
var STHE{I} binary; # 1 si el funcionario público i e I tiene HE

/* Funcion objetivo */
minimize: MaxDif;

/* Restricciones Funcionarios */
s.t. maxTurnosFuncionario{i in I, j in J}: sum{k in K, l in L} x[i,j,k,l] <= 1; /* Cada funcionario en cada día
turno solo trabaje en una unidad basica */
s.t. nottrabajacuandonopuede{i in I, j in J, k in K, l in L}: x[i,j,k,l] <= DT[i,l]; /* Funcionario no trabaja cuando
no puede */
s.t. NoTrabajaEnSituacionAdmin{i in I, j in J, l in L, k in K}: x[i,j,k,l] <= NSA[i,j]; /* si esta en vacaciones,
incapacidad o otra situación administrativa no debe trabajar */
s.t. MinNoFuncionariosPorUnidadOrgazacional{j in J, k in K, l in L, f in F}: sum{i in I} x[i,j,k,l] >=
FPUOmin[l,k]*Alfa[j,l]; /* numero minimo de funcionarios por unidad organizacional */
s.t. MaxNoFuncionariosPorUnidadOrgazacional{j in J, k in K, l in L, f in F}: sum{i in I} x[i,j,k,l] <=
FPUOmax[l,k]*Alfa[j,l]; /* numero maximo de funcionarios por unidad organizacional */
s.t. diferencia_en_proporcion_entre_funcionarios{i in I, ii in I}: sum{j in J, l in L, k in K} x[i,j,k,l]*HL[l] -
sum{j in J, l in L, k in K} x[ii,j,k,l]*HL[l] <= MaxDif; /* nivelacion de carga laboral */

/* Restricciones Horas extras */
s.t. HE2 {i in I}: sum{k in K, j in J, l in L : l = "nocturnoEntreSemana" || l = "NocturnoDominical"} x[i,j,k,l] <= 2;
# maximo 2 turnos nocturnos al mes
s.t. HE3 {i in I}: HTT[i] = sum{k in K, l in L, j in J} x[i,j,k,l]*HL[l]; # Conocer las horas totales trabajadas por
cada funcionario público
s.t. HE4 {i in I}: HTT[i] - ((240/30)*7) = HET[i] - HNT[i]; # Conocer las horas extras o no laboradas para cada
trabajador
s.t. HE5 {i in I}: HET[i] = HEP[i] + HEC[i]; # Relacionar las horas extras deben pagarse en compensatorios o
pagarse

```

s.t. HE6 {i in I}: HEC[i]=sum{j in J,l in L}DC[i,j,l]*6;# las horas extra con compensatorios deben tener un día y horario asignado

s.t. HE7 {i in I,j in J,l in L}: DC[i,j,l]+sum{k in K }x[i,j,k,l]<=1; # No puedo asignar un mismo día en un turno (trabajo+Compensatorio)

s.t. HE8 {i in I}: HET[i]<=STHE[i]*100000;#Evitar que las horas Extra y no trabajadas se llenen al mismo tiempo

s.t. HE9 {i in I}: HNT[i]<=(1-STHE[i])*100000;#Evitar que las horas Extra y no trabajadas se llenen al mismo tiempo

s.t. HE10 {i in I,j in J, l in L}: DC[i,j,l]<=Beta[j,l];# Evitar dar compensatorios en los bloques que no se permite

solve;

display MaxDif;

table TABLA{i in I,j in J,k in K, l in L} OUT "CSV"
"Tesis.csv":i~Funcionario,j~Dia,k~UnidadOrganizacional,l~Turno,x[i,j,k,l]~Asignacion,
HTT[i]~HorasTrabajadas,DC[i,j,l]~TurnoCompensatorio;

```
printf "\n";  
printf " ---Resultados--- ";  
printf "\n";
```

```
for{i in I,j in J,l in L}{  
printf if DC[i,j,l]=1 then "Funcionario " &i& " compensa Dia " &j& " en turno " &l& ". \n" else "";  
}
```

```
for {i in I}{  
printf if HEC[i]>=1 then "HHHHHH" else "" ;  
printf "el trabajador " &i& " trabaja " &HTT[i]& "\n";  
printf " +Horas Legales: 56 \n";  
printf " +Horas Extra: " &HET[i]& "\n";  
printf " -Horas pagadas: " &HEP[i]& "\n";  
printf " -Horas compensatorio: " &HEC[i]& "\n";  
printf " +Horas No trabajadas: " &HNT[i]& "\n";  
printf "\n";  
}
```

```
for{i in I,j in J,l in L,k in K}{  
printf if x[i,j,k,l]=1 then "Funcionario " &i& " Trabaja Dia " &j& " Unidad " &k& " en turno " &l& " Acum  
&Pasa[i,j,l]& " \n" else "";  
}
```

```
#printf { i in I,j in J,l in L,k in K: x[i,j,k,l]=1 } "funcionario %d día %d unidad básica %d turno %d \n",i,j,k,l;  
#printf {k in K, j in J, l in L:sum{i in I}x[i,j,k,l]>0} "trabajan %d funcionarios el día %d en la unidad %d  
el turno %d \n",sum{i in I}x[i,j,k,l],j,k,l;  
#printf {j in J, l in L:sum{f in F}B[j,f]*G[f,l]>=1} "dia %d turno %d \n",j,l;
```

data;

```
#set I:= 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12  
13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24
```


25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36
 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48
 49 50 51 52 53 ;

#set J:= 1 2 3 4 5 6 7 8 ;

#set K:= 1 2 3 4 5 6 7;

#set L:= 1 2 3 4 5 6;

#set F:= 1 2 3 ;

#set C:= 1 2;

param Alfa: "nocturnoEntreSemana" "Entre semana mañana" "Entre semana tarde" "Sábado"
 "Dominical" "NocturnoDominical":=
 1 1 1 1 0 0 0
 2 1 1 1 0 0 0
 3 1 1 1 0 0 0
 4 1 1 1 0 0 0
 5 1 1 1 0 0 0
 6 0 0 0 1 0 0
 7 0 0 0 0 1 1
 8 1 1 1 0 0 0;

param Beta: "nocturnoEntreSemana" "Entre semana mañana" "Entre semana tarde" "Sábado"
 "Dominical" "NocturnoDominical":=
 1 0 1 1 0 0 0
 2 0 1 1 0 0 0
 3 0 1 1 0 0 0
 4 0 1 1 0 0 0
 5 0 1 1 0 0 0
 6 0 0 0 0 0 0
 7 0 0 0 0 0 0
 8 0 1 1 0 0 0;

/* funcionarios públicos mínimo requeridos por la unidad organizacional k e K en el turno l e L*/

param FPUOmin: "UPJ" "Granja" "Ciudad Bolivar" "Kennedy" "UBAM"
 "Delitos Sexuales" "Centro":=
 "nocturnoEntreSemana" 1 0 0 0 1 0 0
 "Entre semana mañana" 4 1 1 1 4 1 4
 "Entre semana tarde" 4 0 0 1 4 0 4
 "sábado" 4 1 1 1 4 1 4
 "Dominical" 4 1 1 1 4 1 4
 "NocturnoDominical" 1 0 0 0 1 0 0;

/* Funcionarios públicos máximo requeridos por la unidad organizacional k e K en el turno l e L*/

param FPUOmax: "UPJ" "Granja" "Ciudad Bolivar" "Kennedy" "UBAM" "Delitos
 Sexuales" "Centro":=
 "nocturnoEntreSemana" 1 0 0 0 1 0 0
 "Entre semana mañana" 4 1 1 1 4 1 1000
 "Entre semana tarde" 4 0 0 1 4 0 1000
 "Sábado" 4 1 1 1 4 1 1000

"Dominical"		4	1	1	1	4	1	1000
"NocturnoDominical"	1	0	0	0	1	0	0;	

/* 1 si el funcionario público i e I labora en el turno l e L,0 si no*/

param DT: "nocturnoEntreSemana" "Entre semana mañana" "Entre semana tarde" "Sábado"

"Dominical" "NocturnoDominical":=

1	1	1	0	1	1	1
2	1	1	0	1	1	1
3	1	1	0	1	1	1
4	1	1	0	1	1	1
5	1	1	0	1	1	1
6	1	1	0	1	1	1
7	1	1	0	1	1	1
8	1	1	0	1	1	1
9	1	1	0	1	1	1
10	1	1	0	1	1	1
11	1	1	0	1	1	1
12	1	1	0	1	1	1
13	1	1	0	1	1	1
14	1	1	0	1	1	1
15	1	1	0	1	1	1
16	1	1	0	1	1	1
17	1	1	0	1	1	1
18	1	1	0	1	1	1
19	1	1	0	1	1	1
20	1	1	0	1	1	1
21	1	1	0	1	1	1
22	1	1	0	1	1	1
23	1	1	0	1	1	1
24	1	1	0	1	1	1
25	1	1	0	1	1	1
26	1	0	1	1	1	1
27	1	0	1	1	1	1
28	1	0	1	1	1	1
29	1	0	1	1	1	1
30	1	0	1	1	1	1
31	1	0	1	1	1	1
32	1	0	1	1	1	1
33	1	0	1	1	1	1
34	1	0	1	1	1	1
35	1	0	1	1	1	1
36	1	0	1	1	1	1
37	1	0	1	1	1	1
38	1	0	1	1	1	1
39	1	0	1	1	1	1
40	1	0	1	1	1	1
41	1	0	1	1	1	1
42	1	0	1	1	1	1
43	1	0	1	1	1	1
44	1	0	1	1	1	1
45	1	0	1	1	1	1
46	1	0	1	1	1	1
47	1	0	1	1	1	1

48	1	0	1	1	1	1
49	1	0	1	1	1	1
50	1	0	1	1	1	1
51	1	0	1	1	1	1
52	1	0	1	1	1	1
53	1	0	1	1	1	1;

/* factor de multiplicación de hora extra l e L */

param PHE:=

"nocturnoEntreSemana"	1.75
"Entre semana mañana"	1
"Entre semana tarde"	1
"Sábado"	1.25
"Dominical"	20
"NocturnoDominical"	2.5;

/* horas laboradas por un funcionario diariamente en el turno l e L */

param HL:=

"nocturnoEntreSemana"	11
"Entre semana mañana"	6
"Entre semana tarde"	6
"Sábado"	11
"Dominical"	11
"NocturnoDominical"	11;

/* 1 si el funcionario público i e I NO tiene ninguna situación administrativa en el día j e J ,0 DLC*/

param NSA:	1	2	3	4	5	6	7	8:=
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	1	1	1
7	1	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	1	1
9	0	0	0	0	0	0	0	0
10	1	1	1	1	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1
12	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1
14	1	1	1	1	1	1	1	1
15	1	1	1	1	1	1	1	1
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	1	1	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	1	1
19	1	1	1	1	1	1	1	1
20	1	1	1	1	1	1	1	1
21	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	1	1	1	1	1	1	1
23	1	1	1	1	1	1	1	1
24	1	1	1	1	1	1	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1
26	1	1	1	1	1	1	1	1

27	1	1	1	1	1	1	1	1
28	1	1	1	1	1	1	1	1
29	1	1	1	1	1	1	1	1
30	1	1	1	1	1	1	1	1
31	1	1	1	1	1	1	1	1
32	1	1	1	1	1	1	1	1
33	1	1	1	1	1	1	1	1
34	1	1	1	1	1	1	1	1
35	1	1	1	1	1	1	1	1
36	1	1	1	1	1	1	1	1
37	1	1	1	1	1	1	1	1
38	1	1	1	1	1	1	1	1
39	1	1	1	1	1	1	1	1
40	1	1	1	1	1	1	1	1
41	1	1	1	1	1	1	1	1
42	1	1	1	1	1	1	1	1
43	1	1	1	1	1	1	1	1
44	1	1	1	1	1	1	1	1
45	1	1	1	1	1	1	1	1
46	1	1	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1	1	1	1
48	1	1	1	1	1	1	1	1
49	1	1	1	1	1	1	1	1
50	1	1	1	1	1	1	1	1
51	1	1	1	1	1	1	1	1
52	1	1	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1	1	1;

/* 1 si el día j e J está incluido en la categoría de día tipo f e F,0 dl */

param B: "Entre semana" "sabado" "dominical":=

1 1 0 0

2 1 0 0

3 1 0 0

4 1 0 0

5 1 0 0

6 0 1 0

7 0 0 1

8 1 0 0;

/* 1 si el turno l e L incluido en la categoría de día tipo f e F,0 dl */

param G: "nocturnoEntreSemana" "Entre semana mañana" "Entre semana tarde" "Sábado"

"Dominical" "NocturnoDominical":=

"Entre semana" 1 1 1 0 0 0

"sabado" 0 0 0 1 0 0

"dominical" 0 0 0 0 1 1;

/* salario de funcionarios*/

param Salario:=

1 7232944

2 6796534

3 6796534

4 6796534

5 6581906

6 5952334

7 5952334
8 5952334
9 5952334
10 5523079
11 5523079
12 5523079
13 5251219
14 5251219
15 5251219
16 4965049
17 4965049
18 4965049
19 4492868
20 4492868
21 4492868
22 4492868
23 4492868
24 4492868
25 4492868
26 4492868
27 4492868
28 4249624
29 4249624
30 4249624
31 4249624
32 4249624
33 4249624
34 4249624
35 4249624
36 4249624
37 4249624
38 4249624
39 4249624
40 5952334
41 5952334
42 5523079
43 4965049
44 4492868
45 6581906
46 5251219
47 4492868
48 6152654
49 6152654
50 5952334
51 5523079
52 4200000
53 4200000;

end;

Bibliografía

- [1] Departamento Administrativo de la Función Pública, “Guía de Gestión Estratégica del Talento Humano (GETH) para el sector público colombiano,” no. 12, pp. 1–60, 2017.
- [2] Organización Internacional del Trabajo, “Guía para establecer una ordenación del tiempo de trabajo equilibrada,” Ginebra, 2018.
- [3] J. M. Feo Ardilla, “Influencia del trabajo por turnos en la salud y la vida cotidiana,” *Univ. Javeriana*, pp. 16–17, 2007.
- [4] J. P. Orejuela, D. Peña, and N. Bustamente, “Modeling the labor scheduling problem considering wellbeing for the clinic’s employees,” *Ing. y Compet.*, vol. 16, no. 1, pp. 11–21, 2014.
- [5] A. Caprara, M. Monaci, and P. Toth, “Models and algorithms for a staff scheduling problem,” *Math. Program.*, vol. 98, pp. 445–476, 2003.
- [6] A. Shuib and F. I. Kamarudin, “Solving shift scheduling problem with days-off preference for power station workers using binary integer goal programming model,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 272, no. 1–2, pp. 355–372, 2019.
- [7] L. Talarico and P. A. Maya Duque, “An optimization algorithm for the workforce management in a retail chain,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 82, pp. 65–77, 2015.
- [8] S. M. Al-Yakoob and H. D. Sherali, “Mixed-integer programming models for an employee scheduling problem with multiple shifts and work locations,” *Ann. Oper. Res.*, vol. 155, no. 1, pp. 119–142, 2007.
- [9] B. Sungur, C. Özgüven, and Y. Kariper, “Shift scheduling with break windows, ideal break periods, and ideal waiting times,” *Flex. Serv. Manuf. J.*, vol. 29, no. 2, pp. 203–222, 2017.
- [10] E. Yilmaz, “A mathematical programming model for scheduling of nurses’ labor shifts,” *J. Med. Syst.*, vol. 36, no. 2, pp. 491–496, 2012.
- [11] A. Legrain, H. Bouarab, and N. Lahrichi, “The Nurse Scheduling Problem in Real-Life,” *J. Med. Syst.*, vol. 39, no. 1, 2015.
- [12] S. Rojanasoonthon and J. Bard, “A GRASP for parallel machine scheduling with time windows,” *INFORMS J. Comput.*, vol. 17, no. 1, pp. 32–51, 2005.
- [13] INMLYCF, “Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses. Quienes Somos.,” vol. 2019. 2019.

- [14] INMLYCF, “Portafolio de servicios - Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.” [Online]. Available: <https://www.medicinalegal.gov.co/portafolio-de-servicios>. [Accessed: 15-Apr-2020].
- [15] M. Á. C. G., O. L. V. C., and D. F. B. B., *El daño oculto, bienestar, salud mental y política pública en trabajadores del sector judicia - Estudios de casos: la conciliación en equidad, el conflicto armado y los delitos sexuales.*, IEMP. 2012.
- [16] S. L. M. Cooper William W. and Z. Joe, *International Series in Operations Research & Management Science Introduction*, vol. 139. 2010.
- [17] J. P. Caballero-Villalobos and J. A. Alvarado-Valencia, “Greedy randomized adaptive search procedure (GRASP), una alternativa valiosa en la minimización de la tardanza total ponderada en una máquina,” *Ing. y Univ.*, vol. 14, no. 2, pp. 275–295, 2010.
- [18] J. Moreno Ramírez, “Metaheurística GRASP para el problema Vertex Bisection Minimization,” *Rev. Cuba. Ciencias Informáticas*, vol. 12, pp. 28–41, 2018.
- [19] F. Javier, M. Armando, J. A. Mesa, J. A. Moreno, and F. A. Ortega, “Metaheurística GRASP para el diseño de redes de tránsito rápido,” vol. 01, 2003.
- [20] D. Álvarez Martínez, E. M. Toro Ocampo, and R. A. Gallego Rendón, “Algoritmo GRASP para resolver el problema de asignación de horarios en empresas de demanda variable,” *Rev. Colomb. Tecnol. Av.*, vol. 2, no. 16, pp. 85–92, 2010.
- [21] E. L. Presidente *et al.*, “Decreto Ley 21 de 2014,” pp. 1–20, 2014.
- [22] D. F. Quintero Moncada, “Diseño de un modelo de asignación de turnos para la operación de sistemas de transporte masivo tipo BRT,” Universidad de la Sabana, Bogotá, 2013.
- [23] K. Moreno Caicedo and K. M. Captuayo Novoa, “Modelación para la programación de personal en empresas de consultoría, auditoría e interventoría.” 2019.
- [24] M. Krishnamoorthy, A. T. Ernst, and D. Baatar, “Algorithms for large scale shift minimisation personnel task scheduling problems,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 219, no. 1, pp. 34–48, 2012.
- [25] T. Garaix, M. Gondran, P. Lacomme, E. Mura, and N. Tchernev, “Workforce Scheduling Linear Programming Formulation,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 51, no. 11, pp. 264–269, 2018.
- [26] M. Hojati, “A greedy heuristic for shift minimization personnel task scheduling problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 100, pp. 66–76, 2018.
- [27] L. Kletzander and N. Musliu, “Solving the general employee scheduling problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 113, p. 104794, 2020.
- [28] M. Moz and M. Vaz Pato, “A genetic algorithm approach to a nurse rostering

problem,” *Comput. Oper. Res.*, vol. 34, no. 3, pp. 667–691, 2007.

- [29] L. P. Rojas, S. H. Tapia, and M. J. Castillo, “Asignación de supervisores forestales. Resolución mediante un algoritmo Tabu search,” *Ingeniare*, vol. 16, no. 3, pp. 404–414, 2008.
- [30] J. Puente, A. Gómez, I. Fernández, and P. Priore, “Medical doctor rostering problem in a hospital emergency department by means of genetic algorithms,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 56, no. 4, pp. 1232–1242, 2009.