

Asignación óptima de personal a instalaciones durante una huelga Optimal assignment of personnel to facilities during a strike

D. P. Juárez-Vergara ^a, G. Mera-Ordaz ^a, M. A. Montufar-Benítez ^{a, *}

^a Área Académica de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, 42184, Pachuca, Hidalgo, México.

Resumen

El presente trabajo de investigación tuvo como propósito desarrollar un modelo de programación lineal binaria para la asignación de trabajadores al resguardo de instalaciones en una universidad en caso de huelga. El objetivo del modelo desarrollado es minimizar la distancia total de traslado de los docentes a las diferentes instalaciones pertenecientes a la universidad. Algunas de las características que se consideraron para establecer ciertas condiciones en el desarrollo del modelo fueron la edad del docente, su sexo, los kilómetros de traslado y la capacidad para albergar a los profesores en cada instalación. El resultado generado por el modelo computacional implementado en LINGO arrojó que la asignación óptima, al asignar un total de 216 docentes mujeres y 335 docentes hombres a las instalaciones consideradas, la proporción de cada docente en turnos peligrosos fue del 29.89% y 65.37%, respectivamente, mientras que para los turnos no peligrosos los resultados fueron de 70.11% y 34.63%.

Palabras Clave: Asignación, Optimización, Riesgos, Huelga, Profesorado.

Abstract

The purpose of this research work was to develop a binary linear programming model for the assignment of workers to guard facilities at a university in case of strike. The objective of the model developed is to minimize the total travel distance of the teachers to the different facilities belonging to the university. Some of the characteristics that were considered to establish certain conditions in the development of the model were the age of the teachers, their sex, the kilometers of travel and the capacity to house the teachers in each facility. The result generated by the computational model implemented in LINGO showed that the optimal allocation, by assigning a total of 596 teachers to the facilities considered, the proportion of women in hazardous shifts was 26.2%, with an age range of 28 to 59 years, while for non-hazardous shifts the results were 61.2% and a range of 28 to 68 years.

Keywords: Assignment, Optimization, Risks, Strike, Faculty.

1. Introducción

La institución educativa en estudio se fundó en 1869 en México. Actualmente, cuenta con un total de 6 institutos y 9 escuelas superiores que se encuentran distribuidas en todo el interior del Estado donde imparte actualmente docencia a nivel universitario y preuniversitario.

En 1979, con el fin de contar con un órgano de representación en la permanente búsqueda por la mejora de las condiciones profesionales, laborales y sociales de sus afiliados, nace su Sindicato de Personal Académico, involucrado en la consecución de los objetivos plasmados en el Artículo 3° de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.

El sindicato, fundado en esta razón y con el propósito de proteger y defender los derechos del personal universitario, y de cumplir con el Contrato Colectivo de Trabajo, ejercerá el derecho de huelga para exigir la revisión anual de los salarios.

En base a esto, cada año, el Sindicato ejerce su derecho de huelga el día 28 de febrero del año en curso, cerrando las instalaciones en punto de las 12:00 horas del día, en caso de no llegar a un acuerdo con las autoridades universitarias.

Este escenario de huelga, implica que el Sindicato de Personal Académico cuente, entre varias cosas, con un programa de guardias que le permita cubrir plenamente los diversos espacios de acceso a las instalaciones, durante las 24

*Autor para la correspondencia: montufar@uaeh.edu.mx

Correo electrónico: ju333386@uaeh.edu.mx (Dania Paola Juárez-Vergara), me343597@uaeh.edu.mx (Guillermo Mera-Ordaz), montufar@uaeh.edu.mx (Marco Antonio Montufar-Benítez).

horas del día, para garantizar su resguardo durante todo el tiempo que dure la huelga.

Esta programación debe especificar la Dependencia o Instituto, señalar el acceso y/o puerta a resguardar por cada docente, así como registrar su nombre y apellidos en el momento de hacer su guardia.

La planificación de horarios de guardias actual, se realiza de acuerdo al Manual de Procedimiento de Huelga del Sindicato, considerando un plan de guardias diurnas y nocturnas. Se apoya de una base de datos con formato de directorio que incluye a la totalidad de la plantilla de académicos sindicalizados. Sin embargo, esta planificación deja fuera muchos aspectos que son importantes, por ejemplo, la edad de los académicos, ya que el turno nocturno puede ser considerado peligroso o agotador para aquel personal de edad avanzada que pudiera tener alguna enfermedad, e involucra un incremento de riesgo al momento de hacer guardia en dicho turno.

Otro factor que no considera la programación actual es el sexo del profesorado. Como es de esperarse, el profesorado femenino se enfrenta a cierto riesgo en turnos nocturnos por la peligrosidad de los mismos, en cuanto a delincuencia o inseguridad. La distancia también es un factor relevante, dado que, muchos de los académicos son asignados a ciertas instalaciones sin importar la lejanía que existe desde su hogar.

De acuerdo a esto, la planificación actual de guardias se ha llevado a cabo de manera empírica y superficial. Por tal motivo, en esta investigación se buscó una propuesta de programación de guardias, a través del desarrollo de un modelo matemático de asignación (MMA) para los docentes, en base a la capacidad de las instalaciones. Este MMA considera no solo la demanda, sino también la reducción de riesgos a los cuales están expuestos los docentes al desempeñar su papel como guardias, considerando el sexo, edad y la distancia recorrida desde la colonia donde reside el docente hasta el acceso asignado.

El modelo de asignación en su forma más simple, es un caso especial del modelo de transporte, donde los trabajadores representan los orígenes y los trabajos representan los destinos, es por ello, que la oferta (demanda) en cada origen (destino) es igual a 1 (Taha, 2012). Es decir, un modelo de esta índole trata de encontrar la mejor asignación a los elementos de un conjunto A, con los elementos de otro conjunto B, considerando ciertas restricciones establecidas.

En el presente trabajo, el MMA busca asignar a cada profesor una instalación y un horario de tal manera que se satisfagan ciertas restricciones que consideran el riesgo implícito en la asignación.

1.1. *Revisión bibliográfica*

Existen casos en los cuales se han utilizado modelos de asignación para determinar la asignación de tareas, por ejemplo, (Arikan y Sozen, 2021) propusieron un enfoque de solución jerárquica para el problema de asignación de tareas de los inspectores de salud y seguridad en el trabajo, donde el problema implica la toma de decisiones por objetivos múltiples como los siguientes: equilibrar la distancia total de viaje de los inspectores, maximizar la puntuación de preferencia de los inspectores en total y equilibrar la carga de trabajo del

inspector en términos de la cantidad de empleados en lugares de trabajo.

Un modelo con un enfoque distinto es el de (Jaskowski y Tomczak, 2014) en donde el problema consiste en elegir los modos de proceso óptimos para minimizar la duración o el coste de un proyecto de construcción. Por lo tanto, desarrollaron programas lineales binarios para modelar el problema de asignación para diferentes opciones de procesamiento.

En (Telhada, 2014) se plantean formulaciones de programación entera mixta (MIP) como alternativas para un problema integrado de programación de turnos y asignación de tareas, con lo que se propone definir horarios de trabajo para cada empleado, que cumplan con una disponibilidad dada, un conjunto de habilidades, y que satisfagan un conjunto de reglas de negocio, así como restricciones basadas en la legislación laboral. El objetivo es minimizar la desviación total respecto a la carga de trabajo requerida.

Otro trabajo es el de (Sagnaka y Kazancoglu, 2015), donde se recomienda un modelo de programación de enteros integrado con lógica difusa para la programación eficaz de turnos, cuyo problema incluye la programación de la mano de obra mediante la asignación de empleados a turnos determinados por tipos, duración y número de descansos.

En (Özlem, Meral y Kerem, 2021) se proponen enfoques de soluciones exactas y heurísticas para dar solución a problemas de asignación de puertas de embarque en aeropuertos. El objetivo de estos enfoques es minimizar la distancia total recorrida por los pasajeros con el mínimo número de aviones asignados a la plataforma.

También (Faudzi, Abdul Rahman y Abdul Rahman, 2018) presentan una revisión del problema de asignación dentro de las actividades educativas, donde los problemas fueron clasificados por horarios y por asignación. En su estudio se analiza la definición y la formulación matemática del problema de asignación general, los tipos de problemas de asignación dentro del dominio de la educación, la dirección futura y el camino potencial del enfoque de solución.

Del mismo modo, (Krauss, Lee y Newman, 2013) presentan un modelo de programación entera para resolver el problema de asignación de alumnos a clases en la Academia Salanter Akiba Riverdale (SAR) de la ciudad de Nueva York, considerando las restricciones básicas que los administradores determinen como necesarias para la asignación de clases, dado que la escuela desea equilibrar múltiples objetivos para la creación de las mismas, por lo que se utiliza un algoritmo evolutivo como heurística para mejorar su colocación.

En ese marco, también se encuentra el problema de asignación de actividades académicas que consiste fundamentalmente en la programación óptima de profesores, aulas y cursos, bajo el máximo cumplimiento de ciertas restricciones. Atendiendo a esto, (Alzate, 2017) desarrolla un modelo matemático y una metodología basada en interacciones de conjuntos, con el objetivo de maximizar el uso de la capacidad de las aulas y cumplir con las restricciones establecidas, para tal fin utiliza la programación lineal entera.

Dentro de la industria manufacturera, (Liu, Liu y Yang, 2019) investigan un problema de asignación de mano de obra en la línea de montaje con r estaciones en las que se fabrican piezas de distintos tipos de un conjunto. En este problema de la cadena de montaje, la programación de los trabajadores es

de suma importancia para la reducción de los costes y la mejora de la eficiencia. En este mismo sentido, los investigadores o planificadores de procesos, también se enfocan en la planificación de la producción con el mismo fin de reducir los costos, por lo que (Ho y Ji, 2005) formulan modelos de programación lineal entera pura para determinar la asignación óptima de varios tipos de productos a múltiples líneas de montaje con el objetivo de minimizar el coste total de producción.

Por otro lado, los modelos de asignación también se pueden utilizar para resolver problemas de asignación de pseudopilotos (PP) en la formación de control de tráfico aéreo, como es el caso de (Dönmez, Demirel y Özdemir, 2020), quienes presentan tres modelos para la asignación de pseudopilotos (PP) a simuladores considerando el periodo de trabajo, la carga de trabajo y ambos conjuntamente, mediante programación mixta entera (MIP).

Los problemas de asignación de recursos también están presentes en los servicios del cuidado de la salud, por ejemplo, (Zhang y Xie, 2015) construyeron un modelo para una secuencia de cirugías con duraciones aleatorias atendidas por múltiples quirófanos. Las cirugías se asignan a los quirófanos de forma dinámica sobre una base del primero en llegar, primero en ser atendido (FCFS por sus siglas en inglés). Un marco de eventos discretos es propuesto para modelar la ejecución del programa de cirugía y evaluar el gradiente del costo total incurrido de la ruta muestra, por la espera del cirujano, inactividad del quirófano y horas extras del quirófano. Un algoritmo de aproximación estocástica basado en estimadores no sesgados de gradiente se proponen y extensos experimentos numéricos sugieren que converge a un global.

Dentro de este mismo sector se encuentra la optimización de la estructura social para la asignación de turnos dentro de la programación de enfermeras, por lo que (Farasat y Nikolaev, 2016) desarrollan un marco matemático basado en las modernas teorías de análisis de redes sociales para tratar los problemas de formación de equipos de enfermeras y de asignación de turnos, teniendo en cuenta las conexiones sociales firmadas. El objetivo es asignar a las enfermeras a equipos/turnos de manera que se satisfagan las restricciones relativas a la normativa laboral y las preferencias de las enfermeras. Otro problema es el de asignación de camas de pacientes, el cual consiste en gestionar, un conjunto de camas con características particulares y asignarlas a un conjunto de pacientes con requerimientos especiales, el cual puede verse como un problema de optimización, cuyos objetivos son minimizar el número de movimientos internos dentro de una unidad y maximizar la utilización de las camas en función de los niveles de criticidad de los pacientes, entre otros. A este respecto, (Taramasco, Olivares, Muñoz, Soto, Villar y De Albuquerque, 2019) presentan un nuevo modelo para este problema de asignación basado en la suma mínima de restricciones insatisfechas.

Otro caso es el problema de asignación de consultores y enrutamiento con coincidencia de prioridades, el cual consiste en asignar simultáneamente los suministros de los consultores a las demandas de los clientes y determinar las mejores rutas de viaje para los consultores. Entre las restricciones que se deben tener en cuenta se encuentran el requisito de habilidades, la limitación de la capacidad, la demanda fija y un número

máximo de tramos de viaje. Para esto, (Lyu y Yu, 2021) proponen un método de descomposición denominado RMIP y un algoritmo de búsqueda de vecindad basado en MIP para dar solución a este problema.

En otro orden de ideas, la investigación de operaciones hace uso de la simulación matemática para el estudio e implementación de modelos que optimicen los problemas de programación y asignación de conductores dentro del problema de los sistemas de transporte masivo que surgen como alternativa frente a las crecientes congestiones de tránsito y al mejoramiento del medio ambiente. En este aspecto (Bohórquez y Sánchez, 2015) desarrollaron un modelo de soporte a la toma de decisiones basado en modelos de Rostering y programación lineal con énfasis en modelos matemáticos para la asignación de turnos a conductores que optimice una operación de transporte masivo urbano de pasajeros en el Sistema Integrado de Transporte Público de Bogotá SITP.

El trabajo de (Taylor y Huxley, 1989) en el área de la seguridad ciudadana, propone un sistema de soporte a la toma de decisiones (DSS, por sus siglas en inglés) para el despliegue de patrullas de policías en la ciudad de San Francisco. Este pronostica las necesidades, programa a los oficiales para maximizar la cobertura y permite un ajuste fino para satisfacer las necesidades humanas. Entre sus resultados obtuvieron una reducción del 20% del tiempo de respuesta e ingresos por 3 millones de dólares anuales por multas de tráfico.

En el trabajo de (Yan et al., 2019) se desarrolla un modelo de programación matemática para asignar policías a turnos en áreas de criminalidad para tratar de evitar los delitos. Se usaron dos modelos, el integrado y el individual, donde el primero trata de coordinar estaciones comunes de policías. El objetivo de ambos modelos fue minimizar el tiempo total de patrullaje de los oficiales. Los resultados muestran que el modelo de planificación integrada significativamente supera al modelo de planificación individual.

Por otra parte, (Wu et al., 2019) a través de un modelo de teoría de juegos proponen una metodología para asignar policías a tres turnos en la ciudad de San Francisco. Su objetivo fue buscar un equilibrio entre costo de salarios de los policías y el riesgo en la ciudad. En el primer paso, las interacciones de tres factores entre el criminal y el capitán de la operación se modelan como un juego no cooperativo de suma cero, después del cual un método de estrategia mixta de equilibrio de Nash se utiliza para derivar el valor de riesgo para cada distrito a ser patrullado. En el segundo paso, los valores de riesgo se utilizan para calcular el valor de Shapley para todos los distritos, para tres niveles de amenaza diferentes.

En el sector de las vías de comunicación, los modelos de asignación de recursos también son ampliamente utilizados, por ejemplo, el problema de programación y enrutamiento de tripulación (CSRP) consiste en determinar la mejor ruta y programación para que una sola tripulación repare los nodos dañados en una red afectada por eventos extremos. El trabajo de (Moreno et al., 2020) trata de minimizar el tiempo total que los nodos de demanda permanecen inaccesibles desde el depósito. Las decisiones integradas de programación y enrutamiento hacen que el problema sea demasiado complicado para resolverlo de manera efectiva utilizando formulaciones de programación entera mixta (MIP). En su artículo, ellos proponen enfoques exactos, heurísticos e

híbridos para el CSRP. Los experimentos computacionales que utilizaron como instancias de referencia, muestran que los algoritmos propuestos pueden resolver instancias a gran escala en comparación con otros métodos propuestos en la literatura.

2. Materiales y Métodos

2.1. Análisis del problema

La organización estudiada, con base en el Contrato Colectivo y la Ley Federal del Trabajo, el Sindicato de Personal Académico, así como el Sindicato Único de Trabajadores y Empleados, ambos de la misma organización, en defensa de los intereses comunes y de proteger los derechos de sus afiliados, ejercerán la huelga para exigir la revisión anual de los salarios, la revisión del Contrato Colectivo de Trabajo al término de su vigencia, así como su permanente cumplimiento y estricta observancia.

Para la consecución de lo anterior, apoyados de la propia experiencia de la organización en estudio y en términos de lo establecido en las leyes y normas aplicables, se establece la necesidad de contar con un programa de guardias que garantice los propósitos del movimiento de huelga.

El periodo de huelga estallada se inicia en el instante en el que suspenden labores. El cierre de las instalaciones se realizará en punto de las 12:00 horas del día 28 de febrero del año en curso o la que corresponda en caso de prórroga. A partir de ese momento, inicia de inmediato el resguardo de las diversas instalaciones y las guardias por las 24 horas del día, en todos y cada uno de los accesos y puertas de acuerdo al programa, debiendo el académico firmar de entrada y salida, especificando el tiempo de permanencia en la guardia.

De acuerdo con la problemática expuesta en la introducción de esta investigación y con el fin de desarrollar un MMA que mejor atendiera las necesidades de la organización, se consideran 6 turnos a cubrir, cada uno de 4 horas, los cuales empiezan desde las 00:00 horas hasta las 24:00 horas, teniendo entonces los siguientes:

- El turno 1 va desde las 00:00 a las 04:00 horas.
- El turno 2 va desde las 04:00 a las 08:00 horas.
- El turno 3 va desde las 08:00 a las 12:00 horas.
- El turno 4 va desde las 12:00 a las 16:00 horas.
- El turno 5 va desde las 16:00 a las 20:00 horas.
- El turno 6 va desde las 20:00 a las 24:00 horas.

El modelo aquí desarrollado tiene por objetivo construir un programa de guardias que permita cubrir plenamente cada uno de los accesos del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería con dirección Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Carboneras, 42184 Pachuca de Soto, Hgo., y el Parque Científico Y Tecnológico De La UAEH con dirección Blvd. Ciudad Del Conocimiento, Mza 1 Lt 2, Santa Catarina, Hgo., las 24 horas del día, hasta que finalice o se dé por terminada la huelga.

Dicho modelo, se encuentra dentro de la categoría de programación lineal binaria, más específicamente, se trata de un modelo matemático de asignación, que pretende, no solo tomar la rotación de los elementos como objetivo principal, sino establecer como función objetivo el minimizar la distancia que recorrerán los profesores desde el lugar de su residencia hasta la instalación que les sea asignada. Además, el modelo

también debe considerar los factores de riesgo presentes en los turnos 1, 2 y 6, que van de las 00:00-04:00, 04:00-08:00 y 20:00-24:00 horas, respectivamente, ya que, son considerados turnos peligrosos tanto para las académicas femeninas como para aquellos académicos, de ambos sexos, mayores de 59 años.

Por otro lado, el modelo debe contemplar la capacidad de cada uno de los accesos de ambas instalaciones para albergar a los académicos, debido a que algunos de estos lugares se encuentran a un costado de avenidas principales, lo que supone un riesgo latente en caso de asignar a más profesorado del que puede ser albergado en un determinado sitio.

2.2. Recolección y análisis de datos

Para recolectar los datos que permitieran el desarrollo del modelo se obtuvo información de una de las páginas de la Dirección de Administración Escolar de la organización bajo estudio para consultar los horarios (UAEH, 2022). De esta página, se extrajo el nombre, sexo, materias impartidas y número de horas que laboran todos los profesores en cualesquiera de las catorce carreras ofertadas por el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.

Con esta información, se construyó una base de datos en Excel, la cual se fue depurando para evitar la repetición de profesores, consiguiendo así, una base de datos de 596 académicos. Posteriormente, esta base de datos se fue complementando con la información necesaria para el desarrollo del modelo, por lo que muestra detalles acerca del nombre del académico, su edad, sexo y la colonia en la que reside. Esto se puede observar parcialmente en la Tabla 1.

Tabla 1: Base de datos.

No.	Nombre	Edad	Sexo	Colonia
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	28	H	VENTA PRIETA
2	ORTIZ PEREA JAVIER	28	H	LOMAS DEL PORTEZUELO
3	LICONA DURAN CLEMENTE	28	H	REAL DE TOLEDO
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	28	H	REAL DE TOLEDO
5	ZU	28	H	REAL DE TOLEDO
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	28	H	LA PROVIDENCIA
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	28	H	ISSSTE
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	29	H	VILLAS DEL ÁLAMO
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	29	H	EL SAUCILLO
10	FLORES BADILLO JAVIER	29	H	VILLAS DEL ÁLAMO
11	GUEVARA LARA ALFREDO	29	H	JUAN C. DORIA
12	TAVIZON MUNGUIA RONALD RICHARD	29	H	SAN CAYETANO BORDO
13	CORONA ARMENTA JOSE RAMON	29	H	MINERVA
14	CUVAS CASTILLO CARLOS	29	H	EL CHACÓN
15	CRUZ BORBOLLA JULIAN	29	H	LA PROVIDENCIA
16	DIEGO MARTINEZ MARIO	29	H	MARQUESA
17	GOMEZ CASTILLO EDGAR	29	H	VALLE DE SAN JAVIER
18	LUGO LOPEZ RAMON	29	H	CUBITOS
19	PEREZ ANGELES JOSE RUBEN	29	H	VENTA PRIETA
20	TAVIZON POZOS JESUS ANDRES	29	H	PACHUQUILLA
21	SUAREZ NAVARRETE ALBERTO	30	H	CUBITOS
22	CERECEDO SAENZ EDUARDO	30	H	VALLE DE SAN JAVIER
23	MERA REYES FELIPE	30	H	SAN CAYETANO BORDO
24	PEREZ GONZALEZ MARIO	30	H	MARQUESA
25	COIFFIER JUAREZ ADRIAN	31	H	VILLAS DE PACHUCA
26	PALOMINO RESENDIZ ROBERTO LUIS	31	H	COLINAS DE PLATA
27	TORRES SAMPERIO GONZALO ALBERTO	32	H	JUAN C. DORIA
28	CRUZ CHAVEZ ENRIQUE	32	H	PIRACANTOS
29	PEREZ MUJIA JUAN	32	H	EL SAUCILLO
30	VEGA PEREZ JIMY JOSUE	32	H	LA PROVIDENCIA
31	OLVERA CAMARILLO VICTOR	32	H	VILLAS DEL ÁLAMO
32	GARCÍA SUÁREZ JOSÉ IGNACIO	32	H	COLINAS DE PLATA
33	CARDENAS REYES EDGAR ALFONSO	32	H	CAMPESTRE
34	MAYA GRESS KRISTIAN FREYRI	33	H	LOS TUZOS

Es importante destacar que las edades y las colonias fueron asignadas usando un muestreo aleatorio simple y funciones internas de Excel, ya que la página web, mencionada anteriormente, no proporcionaba esta información. Para la edad se estableció un rango entre 28 y 68 años edad, mientras que para las colonias se creó un listado de 28 colonias tomadas de los municipios de Pachuca y Mineral de la Reforma, Hidalgo.

Una vez obtenida esta información, los datos se organizaron primeramente de acuerdo al sexo, hombres y mujeres, y después de acuerdo a las edades de menor a mayor.

Dado que la edad y la colonia donde residen los académicos fueron valores supuestos mediante aleatorios, se optó por realizar una encuesta con la herramienta de Google Forms. Esta encuesta se hizo llegar al profesorado del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, sin embargo, solo se obtuvieron 46 respuestas. La encuesta realizada proporcionó información acerca de:

- Nombre completo del académico.
- Años cumplidos.
- Colonia en la que reside.
- Número de horas que labora impartiendo clases en todos los niveles por semana.
- Años de antigüedad en la organización.
- Si se encuentra sindicalizado o no.

Las 46 respuestas obtenidas mediante la encuesta se sustituyeron en la base de datos mencionada anteriormente, de tal manera que los académicos que respondieron a la encuesta tuvieran la edad y la colonia correspondiente. El enlace que direcciona al formulario se puede consultar en el Apéndice A.

De igual forma, el enlace que redirige la base de datos completa y actualizada se muestra en Apéndice A.

2.3. Selección de accesos

Los accesos (instalaciones) designados a cubrir forman parte del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería con dirección Pachuca-Tulancingo Km. 4.5, Carboneras, 42184 Pachuca de Soto, Hgo., y el Parque Científico Y Tecnológico De La UAEH con dirección Blvd. Ciudad Del Conocimiento, Mza 1 Lt 2, Santa Catarina, Hgo.

Estos accesos contemplados para la asignación de las guardias tienen la siguiente numeración y ubicación, para los fines del presente trabajo:

- Puerta 1: Acceso principal a Ciudad de Conocimiento ubicado frente a la carretera Tulancingo-Pachuca.
- Puerta 2: Acceso ubicado sobre la Avenida San Judas Tadeo.
- Puerta 3: Acceso ubicado sobre la Avenida Álamo Dorado.
- Puerta 4: Acceso principal al Parque Científico y Tecnológico de la UAEH ubicado en el Blvd Ciudad Del Conocimiento, Mza 1 Lt 2.

A través del uso de la aplicación Google Maps (<https://www.google.com/maps/>), las ubicaciones de cada uno de los accesos, en ambas instalaciones, se pueden visualizar en la Figura 1 y 2, respectivamente.

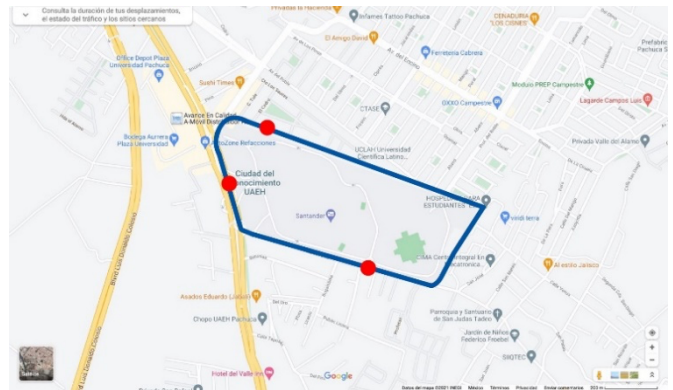


Figura 1: Accesos ubicados en el Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería.

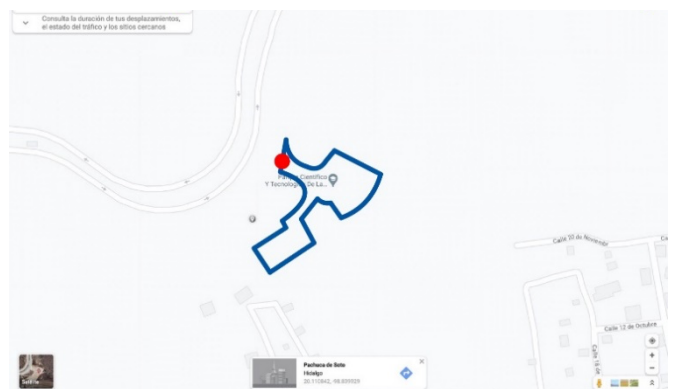


Figura 2: Acceso ubicado en el Parque Científico y Tecnológico de la UAEH.

2.4. Medición de distancias

Con base en los resultados mostrados en la base de datos y los recolectados mediante la encuesta, se obtuvo la distancia que recorren en kilómetros los académicos desde la colonia donde residen hasta cada uno de los accesos o puertas del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería y del Parque Científico y Tecnológico de la UAEH.

Para la toma de distancias entre colonias se utilizó la aplicación Google Maps (<https://www.google.com/maps/>), en la Figura 3 se muestra un ejemplo de la toma de distancias entre la colonia de Villas del Álamo a la puerta 1 o acceso principal a Ciudad de Conocimiento ubicado frente a la carretera Tulancingo-Pachuca.



Figura 3: Ejemplo de cálculo de distancias de la colonia x a la puerta 1.

Una vez obtenidas las distancias de todas las colonias a cada uno de los cuatro accesos a las instalaciones, se construyó la matriz $D = [d_{i,j}]$, la cual se muestra parcialmente en la Tabla 2.

Tabla 2: Matriz parcial de distancias en km a los accesos destinados a guardias.

No.	Nombre	Edad	Sexo	Colonia	DISTANCIAS HACIA PUERTAS			
					Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	28	H	VENTA PRIETA	9.1	9.9	9	12.5
2	ORTIZ PEREA JAVIER	28	H	LOMAS DEL PORTEZUELO	2.9	1.2	2.3	20.1
3	LICONA DURAN CLEMENTE	28	H	REAL DE TOLEDO	18.1	18.7	17.9	13.8
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	28	H	REAL DE TOLEDO	18.1	18.7	17.9	13.8
5	ZU	28	H	REAL DE TOLEDO	18.1	18.7	17.9	13.8
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	28	H	LA PROVIDENCIA	5.1	5.8	4.5	21.9
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	28	H	ISSSTE	14.3	15	11.9	12.3
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	29	H	VILLAS DEL ÁLAMO	1.1	1.8	0.8	17.9
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	29	H	EL SAUCILLO	5.8	6.5	5.6	17.3
10	FLORES BADILLO JAVIER	29	H	VILLAS DEL ÁLAMO	1.1	1.8	0.8	17.9
11	GUEVARA LARA ALFREDO	29	H	JUAN C. DORIA	12.4	13.3	12.3	11.6
12	JIMENEZ MUNGUIA RONALD RICHARD	29	H	SAN CAYETANO BORDO	9.9	10.6	10.7	10.1
13	CORONA ARMENTA JOSE RAMON	29	H	MINERVA	4.8	5.4	4.7	23.7
14	CUVAS CASTILLO CARLOS	29	H	EL CHACÓN	6.2	7	6.1	17.2
15	CRUZ BORBOLLA JULIAN	29	H	LA PROVIDENCIA	5.1	5.8	4.5	21.9
16	DIEGO MARTINEZ MARIO	29	H	MARQUESA	6.2	6.9	6.1	12.3
17	GOMEZ CASTILLO EDGAR	29	H	VALLE DE SAN JAVIER	7.8	8.5	7.6	14.2
18	LUGO LOPEZ RAMON	29	H	CUBITOS	3.6	3.7	3.5	14.7
19	PEREZ ANGELES JOSE RUBEN	29	H	VENTA PRIETA	9.1	9.9	9	12.5
20	TAVIZON POZOS JESUS ANDRES	29	H	PACHUQUILLA	4.6	5.3	4	21.4

En dicha matriz, la distancia $d_{i,j}$ en la posición (i,j) representa la distancia entre la colonia i donde vive el profesor hasta la puerta j .

2.5. Modelo matemático

El modelo matemático aquí desarrollado sirvió para representar un problema de asignación con su posterior traducción al lenguaje de modelación Lingo. Dicho modelo es una adaptación del problema tradicional de asignación, donde cierto tipo de recursos se destinan a realizar ciertas tareas. La formulación se presenta a continuación:

Índices

Los índices derivados de i y n comprenden índices que clasifican a los profesores y profesoras de acuerdo a sus edades, teniendo lo siguiente:

- $i = 1..262$ para profesores entre 28 y 59 años
- $n = 263..335$ para profesores entre 60 años y más
- $i' = 336..544$ para profesoras entre 28 y 59 años
- $n' = 545..596$ para profesoras entre 60 años y más

Estos índices se establecieron de tal manera que se pudiera tener una clasificación del profesorado de acuerdo a su sexo y edad, para poder asignar cierta cantidad de cada tipo de ellos en un turno específico.

Además, se definió un índice que comprende los 4 accesos a cubrir y un índice que contemple los 6 turnos.

- $j = P1..P4$ para puertas
- $k = T1..T6$ para turnos

Parámetros

Los parámetros son los valores que permitirán la formulación de la función objetivo del modelo.

$$D_{ij} = \text{distancia entre la colonia donde vive el profesor } i \text{ a la puerta } j; \forall i \forall j$$

$$D_{i'j} = \text{distancia entre la colonia donde vive la profesora } i' \text{ a la puerta } j; \forall i' \forall j$$

$$D_{nj} = \text{distancia entre la colonia donde vive el profesor } n \text{ a la puerta } j; \forall n \forall j$$

$$D_{n'j} = \text{distancia entre la colonia donde vive la profesora } n' \text{ a la puerta } j; \forall n' \forall j$$

Establecidos los índices y los parámetros, las variables de decisión binaria son las siguientes:

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{si el profesor } i \text{ es asignado a la} \\ & \text{puerta } j, \text{ en el turno } k; \forall i, \forall j, \forall k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$Y_{i'jk} = \begin{cases} 1 & \text{si la profesora } i' \text{ es asignada} \\ & \text{puerta } j, \text{ en el turno } k; \forall i', \forall j, \forall k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$V_{njk} = \begin{cases} 1 & \text{si el profesor } n \text{ es asignado a la} \\ & \text{puerta } j, \text{ en el turno } k; \forall n, \forall j, \forall k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

$$W_{n'jk} = \begin{cases} 1 & \text{si la profesora } n' \text{ es asignada a la} \\ & \text{puerta } j, \text{ en el turno } k; \forall n', \forall j, \forall k \\ 0 & \text{en caso contrario} \end{cases}$$

Entonces, con las variables definidas para el modelo de asignación binaria, el modelo queda de la siguiente forma:

$$\text{Min } z = \sum D_{ij} * X_{ijk} + \sum D_{i'j} * Y_{i'jk} + \sum D_{nj} * V_{njk} + \sum D_{n'j} * W_{n'jk} \tag{1}$$

s.t.

$$\sum_{i=1}^{262} X_{ijk} = 1; \tag{2}$$

$$\sum_{i'=336}^{544} Y_{i'jk} = 1; \forall i' \tag{3}$$

$$\sum_{n=263}^{335} V_{njk} = 1; \forall n \tag{4}$$

$$\sum_{n'=545}^{596} W_{n'jk} = 1; \forall n' \tag{5}$$

$$\sum_{i=1}^{262} X_{i11} = 24; \forall i \tag{6}$$

$$\sum_{i'=336}^{544} Y_{i'11} = 14; \forall i' \tag{7}$$

$$\sum_{i=263}^{335} V_{n11} = 0; \forall n \tag{8}$$

$$\sum_{i'=545}^{596} W_{n'11} = 0; \forall n' \tag{9}$$

$$\sum_{i=1}^{262} X_{i21} = 12; \forall i \tag{10}$$

$$\sum_{i'=336}^{544} Y_{i'21} = 03; \forall i' \tag{11}$$

$$\sum_{i=263}^{335} V_{n21} = 0; \forall n \tag{12}$$

$$\sum_{i'=545}^{596} W_{n'21} = 0; \forall n' \tag{13}$$

$$\sum_{i=1}^{2562} X_{i31} = 06; \forall i \tag{14}$$

$$\sum_{i'=336}^{544} Y_{i'31} = 02; \forall i' \tag{15}$$

La ecuación (1) muestra la función objetivo del modelo, la cual indica que se busca minimizar la suma de las distancias entre las colonias donde viven los profesores i hasta la puerta j , más las distancias entre las colonias donde viven las profesoras i' hasta la puerta j , más las distancias entre las colonias donde viven los profesores n hasta la puerta j y las distancias entre las colonias donde viven los profesores n' hasta la puerta j .

Además, se tienen las restricciones mostradas en las expresiones (2-5), las cuales indican que todos los profesores deben ser asignados a una puerta y en un turno sin excepción alguna.

En las expresiones (6-15) se tienen las restricciones que limitan la cantidad de profesores del tipo i , i' , n y n' en algunas puertas y turnos por situaciones de riesgo, en torno al sexo y edades de los profesores, y de inexistencia de espacio.

Para sintetizar la información solo se colocaron las restricciones para el turno uno, sin embargo, es el mismo proceso para los demás turnos.

2.6. Modelación en Lingo con programación lineal

La traducción del modelo matemático al lenguaje de Lingo utiliza la programación lineal. De acuerdo a (Taha, 2012) la técnica de investigación de operaciones (IO) más importante es la programación lineal, la cual está diseñada para modelos con funciones objetivo y restricciones lineales.

La programación lineal utiliza un modelo matemático para describir el problema. El adjetivo lineal significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser funciones lineales. En este caso, la palabra programación no se refiere aquí a términos computacionales; en esencia es sinónimo de planeación. Por lo tanto, la programación lineal involucra la planeación de actividades para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada (de acuerdo con el modelo matemático) entre todas las alternativas factibles. (Hillier y Lieberman, 2010).

Entonces, la programación lineal (PL) es un método matemático de optimización que permite representar modelos lineales. Su aplicación más frecuente es la asignación de recursos a actividades maximizando o minimizando una función objetivo dependiendo la situación. En este caso, se pretende asignar a los docentes a guardias en los accesos a las instalaciones de los institutos mencionados con anterioridad, durante un periodo de huelga, cuyo objetivo es minimizar las distancias de traslado desde la residencia de los docentes a los accesos destinados a guardias, por lo tanto, este problema de

asignación se ajusta al formato general del modelo de programación lineal, por lo que su uso queda justificado.

3. Resultados y análisis

Al correr el modelo de asignación en Lingo, este arroja una solución única donde el mínimo de kilómetros a recorrer son 4,685.5 km. Por otro lado, las variables de decisión toman valores que indican a que puerta y a que turno fue asignado cada profesor.

Dada la cantidad de resultados arrojados por Lingo se optó por exportarlos a una hoja de Excel mediante el comando @OLE, quedando ordenados como se muestra a continuación de manera parcial:

Tabla 3: Asignación arrojada por Lingo para Turno 1.

No.	Nombre	Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	0	0	0	0
2	ORTIZ PEREA JAVIER	0	0	0	0
3	LICONA DURAN CLEMENTE	0	0	0	1
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	0	0	0	0
5	ZU	0	0	0	1
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	0	0	1	0
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	0	0	0	0
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	0	0	0	0
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	0	0	0	0
10	FLORES BADILLO JAVIER	0	0	0	0

Tabla 4: Asignación arrojada por Lingo para Turno 2.

No.	Nombre	Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	0	0	0	0
2	ORTIZ PEREA JAVIER	0	0	0	0
3	LICONA DURAN CLEMENTE	0	0	0	0
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	0	0	0	0
5	ZU	0	0	0	0
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	0	0	0	0
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	0	0	0	0
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	0	0	0	0
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	1	0	0	0
10	FLORES BADILLO JAVIER	0	0	0	0

Tabla 5: Asignación arrojada por Lingo para Turno 3.

No.	Nombre	Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	0	0	0	0
2	ORTIZ PEREA JAVIER	0	0	0	0
3	LICONA DURAN CLEMENTE	0	0	0	0
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	0	0	0	0
5	ZU	0	0	0	0
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	0	0	0	0
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	0	0	0	0
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	0	0	0	0
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	0	0	0	0
10	FLORES BADILLO JAVIER	0	0	0	0

Tabla 6: Asignación arrojada por Lingo para Turno 4.

No.	Nombre	Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	0	0	0	0
2	ORTIZ PEREA JAVIER	0	1	0	0
3	LICONA DURAN CLEMENTE	0	0	0	0
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	0	0	0	0
5	ZU	0	0	0	0
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	0	0	0	0
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	0	0	0	0
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	1	0	0	0
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	0	0	0	0
10	FLORES BADILLO JAVIER	0	0	0	0

Tabla 7: Asignación arrojada por Lingo para Turno 5.

No.	Nombre	Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	0	0	0	0
2	ORTIZ PEREA JAVIER	0	0	0	0
3	LICONA DURAN CLEMENTE	0	0	0	0
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	0	0	0	0

5	ZU	0	0	0	0
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	0	0	0	0
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	0	0	0	0
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	0	0	0	0
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	0	0	0	0
10	FLORES BADILLO JAVIER	1	0	0	0

Tabla 8: Asignación arrojada por Lingo para Turno 6.

No.	Nombre	Puerta 1	Puerta 2	Puerta 3	Puerta 4
1	PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE	1	0	0	0
2	ORTIZ PEREA JAVIER	0	0	0	0
3	LICONA DURAN CLEMENTE	0	0	0	0
4	SANCHEZ ROJAS GERARDO	0	0	0	1
5	ZU	0	0	0	0
6	ALVARADO RODRIGUEZ JOSE GUADALUPE	0	0	0	0
7	GUTIERREZ ROJAS EMMANUEL	0	0	0	1
8	GONZALEZ OLIVARES LUIS GUILLERMO	0	0	0	0
9	LUGO RANGEL GUILLERMO	0	0	0	0
10	FLORES BADILLO JAVIER	0	0	0	0

Como se puede observar, cada uno de los profesores es asignado una sola vez, arrojando un 1 cuando es el caso y un 0 de no serlo. Para ejemplificar esto, considere al profesor PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE, quien fue asignado en el turno 6 puerta 1 (ver Tabla 8) arrojando un valor de 1 para tal representación. En caso contrario, si observamos las Tabla 3-7, se puede notar, que el docente PEREZ FLORES JESUS GUADALUPE no es asignado en los turnos 1 al 5, marcando 0 en las celdas correspondientes a cada puerta. Lo mismo sucede para cada uno de los docentes restantes, únicamente se marca un valor de 1 en una de las celdas pertenecientes a cada docente, que corresponde a un único turno y a una única puerta. Estas asignaciones (valores 1) están contorneadas con color rojo para una mayor visualización.

Por otro lado, los resultados mostraron que, por ejemplo, considerando el número total de mujeres jóvenes (28 a 59 años) de 209 y el total de mujeres mayores (60 años o más) de 52, las proporciones asignadas en turnos peligrosos son las siguientes: (ver Tabla 9)

Tabla 9: Proporción de docentes mujeres jóvenes y mayores de edad en turnos peligrosos (turnos 1, 2 y 6).

Docentes mujeres	Turnos peligrosos			
	P1	P2	P3	P4
28 - 59 años	20.10%	4.31%	2.87%	10.05%
60 años en adelante	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%

Mientras que para los turnos no peligrosos las proporciones son: (ver Tabla 10)

Tabla 10: Proporción de docentes mujeres jóvenes y mayores de edad en turnos no peligrosos (turnos 3, 4 y 5).

Docentes mujeres	Turnos no peligrosos			
	P1	P2	P3	P4
28 - 59 años	24.40%	7.18%	5.74%	25.36%
60 años en adelante	36.54%	23.08%	5.77%	34.62%

Como podemos observar, la cantidad de mujeres mayores de edad en los turnos peligrosos es nula, sin embargo, en los turnos no peligrosos los porcentajes son mayores, y esto indica que el modelo está respetando las restricciones impuestas inicialmente, con el afán de salvaguardar la seguridad de las mujeres mayores de edad. En este mismo sentido, si comparamos la proporción de mujeres jóvenes en turnos peligrosos y turnos no peligrosos, la cantidad de mujeres

jóvenes es mayor en los turnos no peligrosos, ya que de igual forma se está respetando que haya una mayor cantidad de mujeres de esta categoría en estos turnos, cumpliendo de la misma manera con las restricciones establecidas.

Para concluir, los datos se volvieron a organizar en una hoja de Excel, con la finalidad de entregarse en un formato que permitiera al Sindicato de Personal Académico hacer llegar la información al personal académico de la organización bajo estudio.

En seguida se presenta una captura parcial de dicho formato.

Tabla 11: Programa de guardias de huelga en turno 1.

TURNO 1 00:00 - 04:00		
No.	NOMBRE	ASIGNACIÓN
16	DIEGO MARTINEZ MARIO	PUERTA 1
29	PEREZ MUJIA JUAN	PUERTA 1
59	SALINAS RODRIGUEZ ELEAZAR	PUERTA 3
70	URIBE ALCANTARA EDGAR MISAEL	PUERTA 4
72	GARCIA SERRANO JESUS	PUERTA 4
84	CABRERA FILOMENO JUAN JOSE	PUERTA 1
95	SERRALDE LEALBA JUAN RUBEN	PUERTA 2
98	GONZALEZ LOPEZ JOSE ABRAHAM	PUERTA 4
124	MONROY MAYORGA ISRAEL	PUERTA 4
143	HERNANDEZ JIMENEZ FERNANDO	PUERTA 2
154	CASTILLO ALMERAYA BERNARDINO GUILLERMO	PUERTA 1
161	RUEDA SORIANO ESTEBAN	PUERTA 1
167	CASTA	PUERTA 4
183	ZARATE MANCHA JESUS	PUERTA 4
188	URIBE MEJIA JOEL	PUERTA 4
196	ROSALES GONZALEZ OMAR	PUERTA 4
201	RODRIGUEZ GONZALEZ GREGORIO	PUERTA 1
217	CAMPOS NAVA MARCOS	PUERTA 4
222	GARCIA ISLAS LUIS HERIBERTO	PUERTA 4
229	MENENDEZ CONDE LARA FEDERICO	PUERTA 1
230	PEREZ PEREZ ISAIAS	PUERTA 4
238	OLGUIN COCA FRANCISCO JAVIER	PUERTA 4
249	PEDRAZA VERA VICTOR EDUARDO	PUERTA 4
261	ORTEGA HERNANDEZ JOSE LUCIO	PUERTA 4
390	CARBAJAL AGUILAR OYUKI	PUERTA 1
391	SARMIENTO DOMINGUEZ ERIKA IVONNE	PUERTA 1
403	CERON ANGELES VICTORIA ELIZABETH	PUERTA 4
406	GALVAN ORTIZ MARTHA GUADALUPE	PUERTA 4
431	HERNANDEZ ESPINOSA ELIZABETH	PUERTA 1
445	NAJERA FRAGOSO SADITH JASZIN	PUERTA 3
452	MORENO ORTEGA CLAUDIA ELIZABETH	PUERTA 4
473	RAMIREZ CASTA	PUERTA 1
476	ARCEGA SANTILLAN INGRID	PUERTA 4
504	GUTIERREZ SANCHEZ MARIA DE JESUS	PUERTA 4
512	CAMARGO CARRILLO FABIOLA	PUERTA 1
524	TREJO ESPINDOLA LETICIA	PUERTA 1
538	LOPEZ SILVA AIDA LORENA	PUERTA 1
544	GODINEZ MENESES ADRIANA IVONNE	PUERTA 2
38	POZAS CARDENAS MARIANO JAVIER	PUERTA 1

Los resultados completos se pueden consultar en el Apéndice A.

3.1. Análisis de sensibilidad

Para poder medir la robustez del modelo, se generaron comportamientos de las edades de los docentes usando distribuciones probabilísticas, a través de la herramienta "Fit Tool" del software @RISK. Se generaron edades con dos distribuciones triangulares, casi con un comportamiento opuesto el uno del otro (Figs. 4 y 5). Cada comportamiento se apoyó en el principio de conocer los tres parámetros básicos (mínimo, más probable y máximo). Para un caso los parámetros de esta distribución fueron 32, 32 y 63 años respectivamente, mientras que para el otro caso los valores fueron de 32, 55 y 63 años respectivamente. Además de los dos

comportamientos de distribución triangular, también se generó un comportamiento mediante distribución Beta (Fig. 6, parecida a la distribución Normal) de las edades de los docentes.

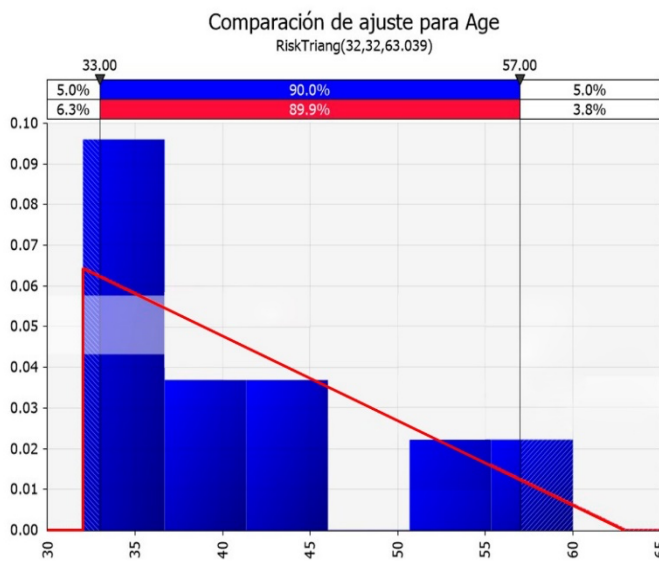


Figura 4: Distribución triangular usada en el análisis de sensibilidad para la edad de los trabajadores (32, 32 y 63 años).

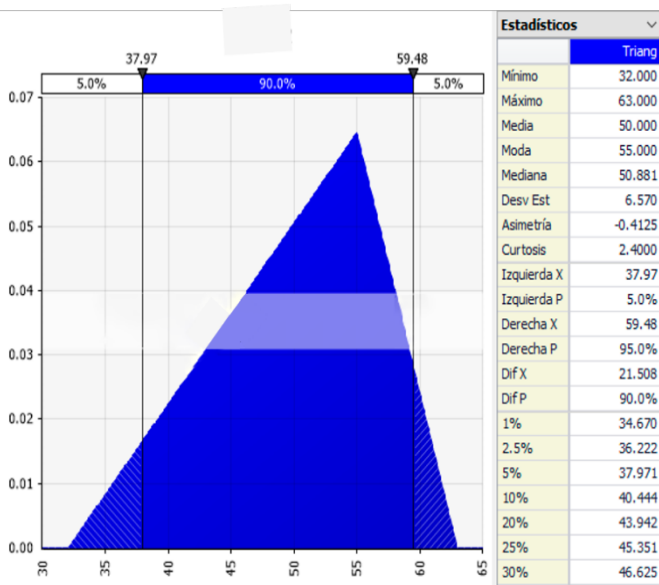


Figura 5: Distribución triangular usada en el análisis de sensibilidad para la edad de los trabajadores (32, 55 y 63 años).

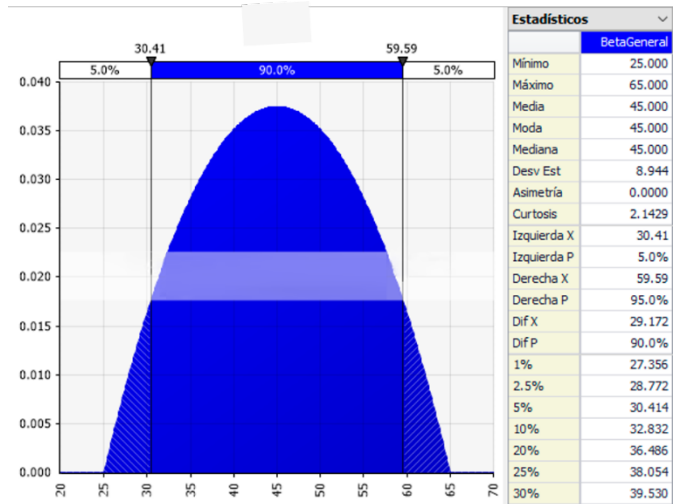


Figura 6: Distribución Beta usada en el análisis de sensibilidad para la edad de los trabajadores.

Es importante mencionar que con la primera distribución triangular se obtuvo mayor cantidad de docentes de edades jóvenes, tanto hombres como mujeres, mientras que los docentes de 60 años en adelante disminuyeron. Por otro lado, con la segunda distribución triangular se obtuvo mayor cantidad de docentes de edades mayores, tanto hombres como mujeres, mientras que los docentes de edades jóvenes disminuyeron. Y, con la distribución Beta, la media se concentró en 45 años.

También es importante considerar que, al correr el modelo con la variante en el comportamiento de las edades de los docentes, no fue necesario realizar algún otro cambio en las variables del modelo y la capacidad de cada acceso se respetó a como se había establecido inicialmente.

Para hacer una comparación entre los resultados obtenidos de las asignaciones por cada uno de los tres comportamientos mencionados, tomando en cuenta que se tiene un total de 261 docentes femeninas y 335 docentes masculinos, se presentan las proporciones asignadas en los distintos turnos en la Tabla 12.

Como se puede observar, la asignación de docentes mujeres mayores de 60 años en los turnos peligrosos es nula, sin embargo, en los turnos no peligrosos los porcentajes son mayores en cualquiera de las tres distribuciones. Esto mismo sucede con los docentes hombres mayores de 60 años, en turnos peligrosos la asignación es nula, mientras que en turnos no peligrosos no lo es.

Lo anterior demuestra que el modelo respeta las restricciones impuestas en el aspecto de salvaguardar la seguridad tanto de las docentes femeninas y aquellos docentes mayores de edad.

Tabla 12: Proporción de docentes mujeres y hombres jóvenes y mayores de edad en turnos peligrosos y no peligrosos por cada comportamiento.

	Triangular 1		Triangular 2		Beta	
	TURNOS PELIGROSOS	TURNOS NO PELIGROSOS	TURNOS PELIGROSOS	TURNOS NO PELIGROSOS	TURNOS PELIGROSOS	TURNOS NO PELIGROSOS
Mujeres (32-59 años)	29.89%	69.35%	29.89%	63.22%	29.89%	62.45%
Mujeres (60 y más)	0.00%	0.77%	0.00%	6.90%	0.00%	7.66%
Hombres (32-59 años)	65.37%	32.54%	65.37%	26.57%	65.37%	29.55%
Hombres (60 y más)	0.00%	2.09%	0.00%	8.06%	0.00%	5.07%

Como las proporciones se obtuvieron con base en el número total de mujeres docentes y el número total de hombres docentes, entonces la suma de los porcentajes, tanto de mujeres como de hombres docentes, en turnos peligrosos y no peligrosos, debe ser igual al 100%. (ver Tabla 12).

4. Conclusiones

Finalmente, podemos concluir que este modelo propone una manera más racional de asignar a los docentes a las guardias, en el sentido de que se busca que recorran menores distancias y que los profesores con características vulnerables no sean expuestos a riesgos presentes en horarios peligrosos, debido a su edad y sexo, de tal forma que se protege la integridad de cada uno de los docentes en la manera de lo posible.

El desarrollo de este modelo puede ser, de alguna forma trasladado a todos los institutos de la universidad y recabar toda la información verídica que proporcionen las autoridades universitarias. De igual forma, este modelo puede ser modificado para contemplar otros factores de riesgo como lo son enfermedades que pueda tener un docente o disponibilidad del tiempo si se tiene algún otro empleo.

Referencias

- Alzate, P. M. (2017). *Modelo de programación entera para la asignación de actividades académicas optimizando espacios en aulas de clase* (Tesis de Maestría). Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.
- Arikan, F., y Sozen, S. (2021). A hierarchical solution approach for occupational health and safety inspectors' task assignment problem. *Occupational Safety and Health Research Institute (OSHRI)*, 12(2), 154-166.
- Bohórquez, J. y Sánchez, C. (2015). *Desarrollo de un modelo matemático para la asignación y rotación de personal para la compañía prestadora del SITP; este es mi bus S.A.S.* (Tesis de Maestría). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
- Dönmez, K., Demirel, S., y Özdemir, M. (2020). Handling the pseudo pilot assignment problem in air traffic control training by using NASA TLX. *Journal of Air Transport Management*, 89.
- Farasat, A., y Nikolaev, A. G. (2016). Signed social structure optimization for shift assignment in the nurse scheduling problem. *Socio-Economic Planning Sciences*, 56, 3-13.
- Faudzi, S., Abdul-Rahman, S., y Abdul-Rahman, R. (2018). An assignment problem and its application in education domain: A Review and Potential Path. *Hindawi*, 2018, 1-19.
- Hillier, F. S., y Lieberman, G. J. (2010). *Introducción a la investigación de operaciones* (ed. 9na.). D.F., México: McGraw-Hill Interamericana.
- Ho, W., y Ji, P. (2005). PCB assembly line assignment: a genetic algorithm approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16(6), 682-692.
- Jaskowski, P., y Tomczak, M. (2014). Assignment problem and its extensions for construction project scheduling. *Technical Transactions. Civil Engineering*, 111, 241-248.
- Karsu, Ö., Azizoğlu, M., y Alanlı, K. (2021). Exact and heuristic solution approaches for the airport gate assignment problema. *Omega*, 103, 102422.
- Krauss, B., Lee, J., y Newman, D. (2013). Optimizing the Assignment of Students to Classes in an Elementary School. *INFORMS Transactions on Education*, 14(1), 39-44.
- Liu, M., Liu, R., y Yang, X. (2019). Workforce Assignment in Assembly Line Considering Uncertain Demand. *IFAC PapersOnLine* 52(13), 223–228.
- Lyu, Z., y Yu, A. J. (2021). Consultant assignment and routing problem with priority matching. *Computers & Industrial Engineering*, 151.
- Moreno, A., Munari, P., y Alem, D. (2020). Decomposition-based algorithms for the crew scheduling and routing problem in road restoration. *Computers & Operations Research*, 119.
- Sagnaka, M., y Kazancoglua, Y. (2015). Shift scheduling with fuzzy logic: an application with an integer. *Procedia Economics and Finance*, 26, 827-832.
- Taha, H. A. (2012). *Investigación de operaciones* (ed. 9na.). Estado de México, México: Pearson Education, Inc.
- Taramasco, C., Olivares, R., Munoz, R., Soto, R., Villar, M., y De Albuquerque, V. H. C. (2019). The patient bed assignment problem solved by autonomous bat algorithm. *Applied Soft Computing*, 81.
- Taylor, P., y S. Huxley. (1989). A Break from Tradition for the San Francisco Police: Patrol Officer Scheduling Using an Optimization-Based Decision Support Tool. *INFORMS Journal on Applied Analytics*, 19(1), 1–24.
- Telhada, J. (2014). Alternative MIP formulations for an integrated shift scheduling and task assignment problem. *Discrete Applied Mathematics*, 164(1), 328-343.
- UAEH. (2022). Dirección de Control Escolar, Consulta de horarios. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Disponible en: <http://sistemas.uaeh.edu.mx/dce/siae/alumnos/horarios/moduloHorarios/vista/vtaHorarios.html>
- Wu, C.-K., Chen, Y.-M., Wu, D., y Chi, C.-L. (2020). A Game Theory Approach for Assessment of Risk and Deployment of Police Patrols in Response to Criminal Activity in San Francisco. *Risk Analysis* 40(3), 534-549.
- Yan, S., Wang, C., y Chuang, Y. (2019). Optimal scheduling for police patrol duties. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, 43(1), 1-12.
- Zhang, Z., y Xie, X. (2015). Simulation-based Optimization for Surgery Appointment Scheduling of Multiple Operating Rooms. *IIE Transactions*, 47(9), 998-1012.

Apéndice A. Primer Apéndice

El formulario realizado para obtener información relevante de los académicos del Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, se encuentra disponible en el siguiente enlace: <https://forms.gle/CCBxiVuisPwXNySp9>.

La base de datos que contempla la información recabada mediante la encuesta realizada, se puede consultar en: <https://drive.google.com/file/d/1Iaw-8JpatOJ3DjuDsRuAR2iwSI87AXIV/view?usp=sharing>.

El formato que muestra la asignación de turnos y puertas para los académicos, se encuentra disponible en: <https://drive.google.com/file/d/1JtJxA7uC3jp-Dca9EcdcQhuV0PGcF31O/view?usp=shari>.