

Reto ASOCIO

Daniela Alcázar Nieto¹, Esteffany Peña Puentes¹ y Juliana Rueda Arango¹

¹ *Universidad de Antioquia, Departamento de Ingeniería Industrial*

1. Introducción

La Asociación Colombiana de Investigación Operativa (ASOCIO) planteó el reto “Asignación de Puestos de Trabajo para una Estrategia Híbrida de Presencialidad y Teletrabajo”, dirigido a proponer soluciones que permitan optimizar la asignación de puestos en un entorno de trabajo híbrido. Este reto responde a la necesidad de las organizaciones, como la Universidad, de gestionar de forma eficiente sus recursos físicos en un contexto de alternancia entre trabajo presencial y remoto.

Con este propósito, se desarrolló una herramienta que apoya a la Dirección de Planeación y Desarrollo Institucional en la asignación de los puestos de trabajo. El objetivo es maximizar el uso de los espacios garantizando el cumplimiento de condiciones obligatorias y favoreciendo condiciones deseables para los empleados, con un enfoque multiobjetivo.

La solución consiste en una plataforma implementada, que permite al tomador de decisiones ingresar los datos del problema y obtener una propuesta de asignación en dos formatos: un cuadro de asignación para cada empleado, y una visualización gráfica que representa la distribución espacial de los grupos en el edificio.

2. Descripción de la herramienta

La herramienta se implementó como una plataforma interactiva usando la librería Dash, en forma de notebook desde el entorno de Google Colab y el modelo es optimizado mediante Gurobipy (licencia académica). El flujo de uso consiste en:

Entrada de datos: el usuario proporciona los datos de empleados, grupos, escritorios, zonas y preferencias.

Procesamiento: el modelo optimiza la asignación según los objetivos y restricciones definidas.

Salida: se generan dos tipos de resultados: (i) un cuadro de asignación por empleado y día, y (ii) una visualización gráfica de las asignaciones por zonas y día.

Se formuló un modelo multiobjetivo lexicográfico, priorizando: (1) satisfacción de las preferencias de los empleados en términos de días, (2) minimización de la dispersión de los grupos en distintas zonas, y (3) consistencia en los escritorios asignados.

La solución se ejecuta en infraestructura basada en Intel(R) Xeon(R) CPU @ 2.20GHz, 1 núcleo físico, 2 hilos, bajo licencia académica de Gurobi.

3. Formulación del Modelo

El objetivo del modelo planteado es: cumplir con las condiciones obligatorias del problema, garantizando la asignación de los empleados en ubicaciones válidas, mientras se busca cumplir con la mayor cantidad de condiciones deseables posibles.

Condiciones obligatorias: (i) cada grupo de trabajo debe tener una reunión semanal (todos los miembros deben asistir), (ii) los empleados solo pueden trabajar en los escritorios compatibles (por cuestión de software o ergonomía), y (iii) no deben haber miembros aislados del grupo al que pertenece.

Condiciones deseables: (i) que los empleados asistan los días en los que quieren ir, (ii) que los miembros de cada grupo de trabajo estén juntos (misma(s) zona(s)), y (iii) que se asigne el mismo escritorio a cada empleado siempre.

3.1. Conjuntos

E	Conjunto de empleados
D	Conjunto de escritorios
J	Conjunto de días
G	Conjunto de grupos
Z	Conjunto de zonas
D_z	Escritorios en zona $z \in Z$
D_e	Escritorios compatibles con empleado $e \in E$
E_d	Empleados compatibles con escritorio $d \in D$
E_g	Empleados del grupo $g \in G$
J_e	Días en los que quiere ser asignado el empleado $e \in E$
NJ_e	Días en los que no quiere ser asignado el empleado $e \in E$

3.2. Variables de Decisión

x_{edj}	Variable binaria que indica si el empleado $e \in E$ es asignado al escritorio $d \in D_e$ el día $j \in J$
u_{gj}	Variable binaria que indica si el grupo $g \in G$ tiene la reunión semanal el día $j \in J$
y_{gzj}	Variable binaria que indica si hay miembros del grupo $g \in G$ en la zona $z \in Z$ el día $j \in J$
w_{gj}	Variable binaria que indica si hay miembros del grupo $g \in G$ en más de una zona el día $j \in J$
c_e	Variable que mide la consistencia de los puestos de trabajo asignados al empleado $e \in E$
mc_{ed}	Variable binaria que indica si el escritorio $d \in D$ es en el que más se sienta el empleado $e \in E$
i_{gj}	Variable que indica la cantidad de zonas (mayor a una) en la que hay miembros del grupo $g \in G$ el día $j \in J$

3.3. Funciones Objetivo y Restricciones

$$\max \quad Z_{1_1} = \sum_{e \in E} \left(\sum_{d \in D_e} \left(\sum_{j \in J_e} x_{edj} - \sum_{k \in NJ_e} x_{edk} \right) \cdot \frac{1}{|J_e|} \right) \quad (1)$$

$$Z_{1_2} = \sum_{e \in E} \left(\sum_{d \in D_e} \left(\sum_{j \in J_e} x_{edj} - \sum_{k \in NJ_e} x_{edk} \right) \right) \quad (2)$$

$$\min \quad Z_2 = \sum_{g \in G} \sum_{z \in Z} \sum_{j \in J} y_{gzj} \quad (3)$$

$$\max \quad Z_3 = \sum_{e \in E} c_e \quad (4)$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{e \in E_d} x_{edj} \leq 1 \quad \forall j \in J, d \in D \quad (5)$$

$$u_{gj} \leq \sum_{e \in E_g} \sum_{d \in D_e} x_{edj} \cdot \frac{1}{|E_g|} \quad \forall g \in G, j \in J \quad (6)$$

$$\sum_{j \in J} u_{gj} \geq 1 \quad \forall g \in G \quad (7)$$

$$\sum_{d \in D_e} x_{edj} \leq 1 \quad \forall j \in J, e \in E \quad (8)$$

$$x_{edj} \leq y_{gzj} \quad \forall g \in G, e \in E_g, j \in J, z \in Z, d \in D_z \cap D_e \quad (9)$$

$$\left(\sum_{z \in Z} y_{gzj} - 1 \right) \frac{1}{|Z|} \leq w_{gj} \quad \forall g \in G, j \in J \quad (10)$$

$$2 \cdot w_{gj} \leq \sum_{e \in E_g} \sum_{d \in D_z \cap D_e} x_{edj} + M(1 - y_{gzj}) \quad \forall g \in G, j \in J, z \in Z \quad (11)$$

$$c_e - M(1 - mc_{ed}) \leq \sum_{j \in J} x_{edj} \quad \forall e \in E, d \in D_e \quad (12)$$

$$\sum_{d \in D_e} mc_{ed} = 1 \quad \forall e \in E \quad (13)$$

$$x_{edj} \in \{0, 1\} \quad \forall e \in E, d \in D_e, j \in J \quad (14)$$

$$u_{gj} \in \{0, 1\} \quad \forall g \in G, j \in J \quad (15)$$

$$y_{gzj} \in \{0, 1\} \quad \forall g \in G, z \in Z, j \in J \quad (16)$$

$$w_{gj} \in \{0, 1\} \quad \forall g \in G, j \in J \quad (17)$$

$$c_e \geq 0 \quad \forall e \in E \quad (18)$$

$$mc_{ed} \in \{0, 1\} \quad \forall e \in E, d \in D \quad (19)$$

Las funciones objetivo del modelo cumplen diferentes propósitos. La primera puede adoptar dos formas: (1), que busca un enfoque equitativo, y (2), que prioriza la satisfacción agregada. En (1), se mide la satisfacción individual normalizada: se contabilizan las asignaciones en días preferidos, se restan las no deseadas y se divide por el número de días preferidos del empleado, alcanzando un máximo de 1 cuando se cumplen exactamente sus preferencias. En (2), se omite esta normalización, de modo que la función refleja el cumplimiento total de días deseados sin ponderación por empleado. La función (3) cuantifica el número total de zonas utilizadas por los grupos, incentivando su agrupación. Por último, (4) maximiza la consistencia en los puestos asignados a los empleados, buscando que cada persona use preferentemente el mismo escritorio.

Las restricciones estructuran el modelo para asegurar factibilidad y coherencia. Las restricciones (5) garantizan que un escritorio no sea ocupado por más de un empleado al día. Las restricciones (8) aseguran que un empleado se asigne a lo sumo a un escritorio compatible por día. Las restricciones (6) y (7) imponen que los grupos realicen al menos una reunión semanal con la asistencia completa de sus miembros. Las restricciones (9) detectan la presencia de grupos en zonas específicas, mientras que (10) identifican dispersión de un grupo en múltiples zonas en un mismo día. Las restricciones (11) evitan la existencia de miembros aislados cuando se presenta esta dispersión. Las restricciones (12) y (13) modelan la consistencia de los escritorios asignados, asegurando el conteo correcto del escritorio más utilizado por cada empleado. Finalmente, las restricciones (14) - (19) definen el dominio de las variables de decisión.

4. Método de Solución

El método de solución empleado se basa en el optimizador Gurobi, que implementa un esquema híbrido compuesto por branch-and-bound, generación dinámica de cortes (branch-and-cut), heurísticas (para encontrar soluciones factibles de forma temprana), presolve (para reducir el tamaño del modelo antes de resolver) y node presolve (para simplificar los nodos en el árbol de búsqueda). Este método se adapta al tamaño de la instancia: para instancias pequeñas (menos de 30 empleados) se usa únicamente el método por defecto; para instancias medianas (30 a 50 empleados), se complementa el método por defecto con un enfoque adicional en la tercera función objetivo, orientado a la mejora de la incumbente mediante heurísticas más frecuentes y búsquedas RINS (Relaxation Induced Neighborhood Search). Para instancias grandes (50 a 90 empleados), este método adicional se aplica en las dos últimas funciones objetivo; y para instancias muy grandes (más de 90 empleados), se usa desde el en los tres objetivos. El método adicional consiste en reasignar recursos a la mejora de la incumbente, activando Heuristics=0.5 y RINS=10, lo que permite explorar soluciones cercanas a la actual combinando información de la relajación fraccionaria y la mejor solución entera encontrada.

5. Tiempo

La gestión del tiempo en el modelo se basa en el límite definido por el usuario, que se distribuye proporcionalmente entre los objetivos: un sexto para el primer objetivo, un sexto para el segundo y los cuatro sextos restantes para el tercero, dado que este último es el de mayor complejidad computacional. Si el tiempo asignado a los dos primeros objetivos no se consume en su totalidad, el remanente se redistribuye al tercer objetivo. Esta política busca garantizar una mayor calidad en la consistencia de las asignaciones, dado que las pruebas realizadas muestran que este objetivo mejora de forma consistente a medida que se dispone de más tiempo. El enfoque permite obtener soluciones factibles en cualquier tiempo límite, con mejor calidad cuando el usuario asigna más tiempo, especialmente en el tercer objetivo. Se recomienda asignar como tiempo límite un valor entre uno y 15 minutos.

6. Resultados

Los resultados del modelo se comunican al usuario mediante dos indicadores principales: (i) el porcentaje de satisfacción de los días de preferencia asignados, que refleja en qué medida se cumplen las solicitudes de presencialidad de los empleados, y (ii) el porcentaje de consistencia en la asignación de escritorios, que indica el grado en que los empleados conservan un mismo puesto a lo largo del horizonte temporal. Además, se presentan visualizaciones que combinan tablas y representaciones gráficas de las zonas y asignaciones por día, permitiendo validar de forma intuitiva la cercanía entre los miembros de un grupo y la distribución general en el espacio de trabajo.

A continuación se presentan los indicadores para las instancias 1 a 6 con un tiempo límite de 5 minutos cada una. También se presentan indicadores para las instancias 7 a 10 con tiempo límite de 10 minutos.

Instancia	Enfoque	FO_1 (%)	FO_3 (%)	Tiempo (s)
Instancia 1	Equitativo	70.00	68.29	14.53
	No equitativo	76.74	81.40	10.71
Instancia 2	Equitativo	63.67	73.81	300
	No equitativo	81.82	75.00	13.02
Instancia 3	Equitativo	72.62	76.84	300
	No equitativo	70.00	71.00	300
Instancia 4	Equitativo	72.12	80.00	300
	No equitativo	76.00	84.00	300
Instancia 5	Equitativo	77.31	68.35	300
	No equitativo	75.58	57.56	300
Instancia 6	Equitativo	80.67	66.46	300
	No equitativo	82.04	78.44	300
Instancia 7	Equitativo	75.13	64.21	600
	No equitativo	81.00	61.50	600
Instancia 8	Equitativo	73.25	64.84	600
	No equitativo	78.72	66.49	600
Instancia 9	Equitativo	70.37	55.96	600
	No equitativo	76.79	64.73	600
Instancia 10	Equitativo	68.72	67.58	600
	No equitativo	75.68	61.26	600

Como ejemplo, se presenta la visualización de la asignación para la instancia 1. Primero, se muestra

la asignación en forma de cuadro de turnos, lo que facilita la comunicación de la información a los empleados.

Leyenda de colores

Z0

Z1

Grupo G0

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
E0			D3		
E1		D6	D4		
E2	D1	D8	D1		
E3	D2		D2		
E4	D0		D0		

Grupo G1

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
E5		D0		D0	
E6				D4	
E7		D1		D1	
E8				D3	D8
E9		D2	D6	D2	

Luego, se incluye la representación espacial, que permite al tomador de decisiones observar la distribución de los empleados en las distintas zonas para cada día.

