

I. DEFINIR

Las más de **1370** manifestaciones violentas realizadas durante el 2021 dejaron:

76 muertes. **1712** uniformados heridos.

REPRESENTACIÓN DEL PROBLEMA

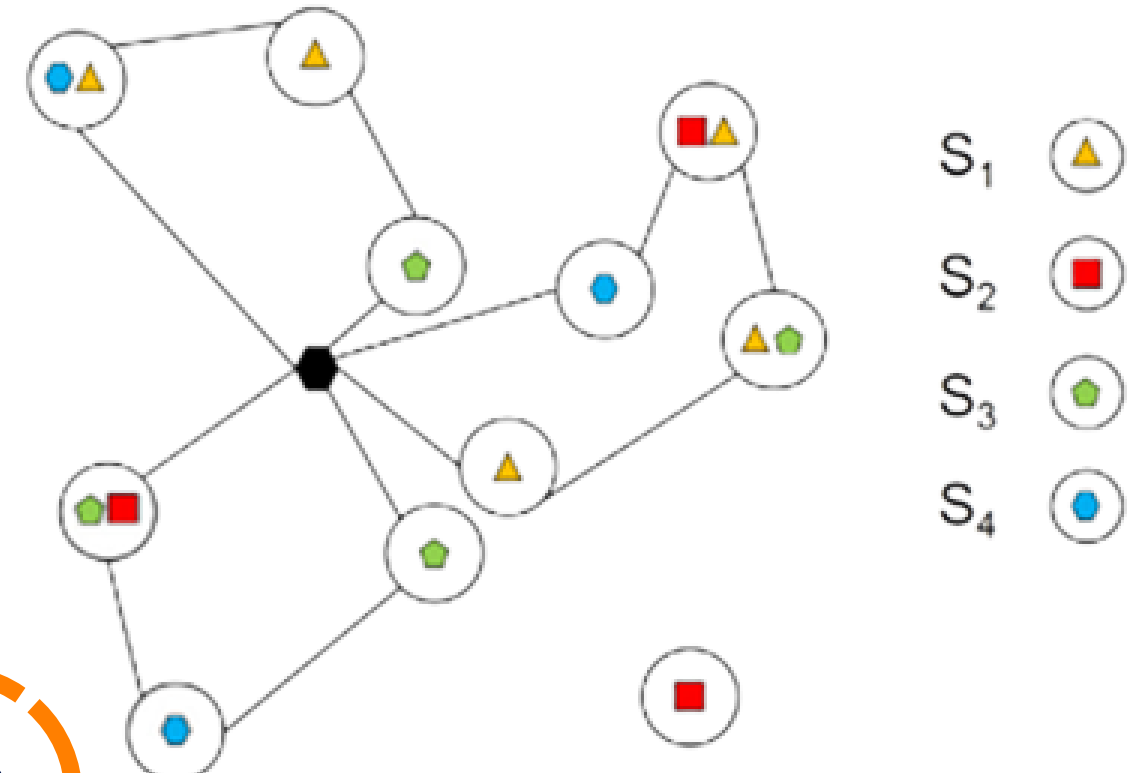


Fig. 1. Modelo de orientación de equipos con ventanas de tiempo [3].

1140 civiles lesionados. **\$11,9** BILLONES COP en pérdidas monetarias [1,2]

Demostrando

Falta de estandarización en la asignación estratégica y oportuna de los recursos policiales frente a los focos de protesta.

II. MEDIR

Asignación de recursos a los focos por

ÍNDICE DE PRIORIZACIÓN

MAGNITUD X NIVEL DE RIESGO

VARIABLE Atención de las protestas en el territorio
INDICADOR Cobertura de los focos de protestas = $\frac{\sum IP_j}{\sum IP_i}$

SITUACIÓN ACTUAL CFP= 66%
META **10%** mínimo

III. ANALIZAR

PROBLEMA DE DECISIÓN - NP HARD

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

- Simple Local Search
- Iterated Local Search
- Genetic Algorithm
- Hybrid Artificial Bee Colony Algorithm
- Mixed Integer Lineal Programming

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un modelo de programación exacto y aproximado enfocado en la mitigación de protestas en Cali, basado en el problema de orientación de equipos con ventanas de tiempo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar** matemáticamente el problema de orientación de equipos con ventanas de tiempo en el contexto de protestas en Cali.
- Diseñar** los componentes computacionales de Iterated Local Search para la resolución del caso de estudio.
- Implementar** los modelos propuestos mediante un lenguaje de programación determinado para la solución del problema.
- Diseñar** un experimento computacional para validar el modelo matemático para el problema abordado.

IV. DISEÑAR

MODELO MATEMÁTICO

Conjuntos

I : Focos de protestas
 D : Estaciones de policía
 N : Nodos (focos y estaciones)
 K : Tipo de vehículo
 $A(d,k)$: Vehículos por tipo de cada estación

Variables

x_{imkda} Binaria (1: se visita el nodo con las especificaciones; 0 d.l.c)
 SI_{ikda} Inicio de la atención
 v_i Binaria (1: el nodo es atendido; 0 d.l.c)
 y_{kda} Cantidad de policías por vehículo
 p_{ikda} Proporción de demanda cumplida por el recurso

Función Objetivo

$$\text{maximize KPI} = \frac{\sum_{i \in I} v_i * \text{IndPri}_i}{\sum_{i \in I} \text{IndPri}_i}$$

Restricciones del modelo

Restricciones de flujo

$$\begin{aligned} * \sum_{i \in N} x_{imkda} &= \sum_{i \in N} x_{mikda}, \quad \forall m \in M, k \in K, d \in D, a \in A_{dk}, m \neq i \\ * \sum_{i \in I} x_{ijkda} &\leq 1, \quad \forall j \in I, d \in D, k \in K, a \in A_{dk}, j \neq i \\ * \sum_{i \in I} x_{aikda} &= \sum_{i \in I} x_{iakda}, \quad \forall d \in D, k \in K, a \in A_{dk} \\ * \sum_{i \in I} \sum_{a \in A_{dk}} x_{aikda} &\leq \text{VehDisp}_{dk}, \quad \forall d \in D, k \in K \end{aligned}$$

Ventanas de tiempo

$$\begin{aligned} * SI_{ikda} &\geq \sum_{m \in N} \text{VenTem}_i * x_{mikda}, \quad \forall i \in I, k \in K, d \in D, a \in A_{dk} \\ * SI_{ikda} &\leq \sum_{m \in N} \text{VenTar}_i * x_{mikda}, \quad \forall i \in I, k \in K, d \in D, a \in A_{dk} \\ * SI_{mkda} &\geq SI_{ikda} + \text{Dura}_i + \frac{\text{Dist}_{im}}{\text{Vel}} - GM * (1 - x_{imkda}), \quad \forall i \in I, m \in I, k \in K, d \in D, a \in A_{dk}, m \neq i \\ * SI_{mkda} &\geq \frac{\text{Dist}_{im}}{\text{Vel}} - GM * (1 - x_{imkda}), \quad \forall i \in D, m \in I, k \in K, d \in D, a \in A_{dk} \end{aligned}$$

Demanda de vehículos

$$* \sum_{i \in N} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A_{dk}} x_{ijkda} \geq \text{DemVeh}_{jk} * v_j, \quad \forall j \in I, k \in K$$

Recursos renovables y cumplimiento de demanda

$$\begin{aligned} * y_{kda} &\geq \text{DemPer}_j * p_{jkda}, \quad \forall j \in I, k \in K, d \in D, a \in A_{dk} \\ * \sum_{k \in K} \sum_{a \in A_{dk}} y_{kda} &\leq \sum_{j \in I} \sum_{k \in K} \sum_{a \in A_{dk}} \text{PolCap}_k * x_{ajkda}, \quad \forall d \in D \\ * y_{kda} &\leq \text{PolCap}_k, \quad \forall j \in I, k \in K, d \in D, a \in A_{dk} \\ * \sum_{i \in N} x_{ijkda} &\geq p_{jkda}, \quad \forall j \in I, k \in K, d \in D, a \in A_{dk} \\ * \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A_{dk}} y_{kda} &\leq \text{PerDisp}_d, \quad \forall d \in D \\ * \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A_{dk}} p_{ikda} &= 1, \quad \forall i \in I \end{aligned}$$

Visitas a los nodos de protestas

$$* \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A_{dk}} x_{imkda} \leq v_m * GM, \quad \forall m \in I, m \neq i \quad * \sum_{i \in N} \sum_{k \in K} \sum_{d \in D} \sum_{a \in A_{dk}} x_{imkda} \geq v_m, \quad \forall m \in I, m \neq i$$

V. VERIFICAR

CONCLUSIONES

- Mayor alcance del inicial por la integración de flota heterogénea, entrega dividida y recursos renovables
- Capacidad suficiente del modelo para encontrar óptimos en el 66% de los casos con solo 10 minutos disponibles. Incremento del 11% del KPI promedio.
- Mínima disponibilidad de información de entrada para el modelo. Las entidades policiales no cuentan con la información requerida disponible.

RECOMENDACIONES

- Adaptación de heurísticas de solución para agilizar la resolución de problemas en escenarios más grandes.
- Integrar el componente estocástico para considerar la aparición de focos no planeados.
- Diseño de experimentos, muestreos sistemático y regresiones para tener mejor caracterización y control de la actividad policial.

RESULTADOS

Experimento computacional con 90 casos de prueba

30 casos no pudieron encontrar solución óptima por falta de tiempo computacional.



60 casos encontraron solución óptima con cobertura del 100%.

Se logra un **KPI = 77%** superando el promedio **10%** esperado

5,4 minutos tiempo computacional promedio de solución de cada caso.

REFERENCIAS

- [1] Oficina del Alto Comisionado de las Naciones Unidas para los Derechos Humanos, "El Paro Nacional 2021: Lecciones aprendidas para el ejercicio del derecho de reunión pacífica en Colombia," Dec. 2021.
[2] Portafolio, "Economía ha perdido \$10,8 billones en un mes de paro," May 27, 2021.
[3] A. E. Yahiaoui, A. Moukrim, and M. Serairi, "The clustered team orienteering problem," Computers and Operations Research, vol. 111, pp. 386–399, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.cor.2019.07.008.