

## **FASE 2 - Ajuste al Modelo Matemático**

### **DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

La inseguridad en Bogotá es un problema que día a día aumenta. Lastimosamente, los ciudadanos no pueden salir de sus casas hacia otros lugares sin el temor de ser víctimas de hurto. Según RTVC noticias: “Los casos de hurto en Bogotá no dan tregua en este inicio de 2024 y nuevos reportes así lo confirman. Según se conoció, durante estas semanas hubo un aumento del 8% en este delito respecto al mismo periodo del año anterior”. Por tal motivo, se quiere buscar una ruta óptima que reduzca la probabilidad de que la persona sea víctima de hurto.

### **JUSTIFICACIÓN**

Diariamente en Bogotá ocurren cientos de hurtos, según la revista Cambio: “En 2023 se denunciaron 476.748 robos en el país. Significa que se denunciaron cerca de 1.306 casos al día, un promedio de 54 anotaciones por hora”. Por lo cual, la movilidad segura dentro de la ciudad se ha convertido en un problema grave. El salir a la calle y dirigirse de un lugar a otro es una diaria preocupación para los bogotanos. Consideramos que lograr establecer una ruta que disminuya la posibilidad de ser hurtado puede ser útil y beneficioso ya que esto ayudaría a que las personas puedan llegar sanas y salvas de un lugar a otro.

La trascendencia que podría tener el uso de este modelo es que se podría reducir la cantidad de hurtos que se presentan en la ciudad puesto que por cifras del periódico de la Universidad Nacional el 73% de las personas encuestadas ha sido víctima de algún delito. Por otro lado, esto podría dar una mejor percepción de seguridad a los ciudadanos que según cifras presentadas en el periódico de la Universidad Nacional el 37% de los encuestados dicen sentirse inseguros en la ciudad.

### **IDENTIFICACIÓN DE LOS INTERESADOS DEL SISTEMAS**

Encontramos dos grandes grupos interesados en este modelo, los cuales desde diferentes perspectivas podrían verse beneficiados, unos como principales usuarios y otros a los cuales podría ayudar en sus indicadores y aparte serían parte fundamental en el buen funcionamiento del modelo.

El primer grupo de interesados serían las personas que busquen transportarse de manera segura dentro de la ciudad de Bogotá. Estas personas podrían encontrar una ruta que les permita transportarse de una forma mucho más segura reduciendo la probabilidad de ser robadas.

En el segundo grupo estarían instituciones interesadas como lo podría ser la alcaldía, la Secretaría Distrital de Seguridad, Convivencia y Justicia y la Policía Metropolitana de Bogotá. Estas instituciones

serían de vital importancia en el éxito de proyecto dado que serían una de las principales fuentes de información para conocer la cantidad de hurtos por localidad frecuentemente. Por otra parte, también podrán beneficiarse al poder identificar que rutas son las que poseen más peligro para lograr implementar estrategias que permitan reducir la criminalidad, y obtener una mejor percepción de la ciudadanía.

## IDENTIFICACIÓN DE LOS ALCANCES Y LIMITACIONES

Hemos definido que el alcance de nuestro proyecto se centre en la ciudad de Bogotá. Para ello, hemos optado por modelar la malla vial de cada localidad utilizando un grafo, en el que las intersecciones se representan como nodos y las vías como aristas que conectan estos nodos. Además, hemos decidido asignar un peso a cada arista del grafo basado en la incidencia de delitos específicos como robos de celulares y de bicicletas, utilizando datos de seguridad por localidad. Esto nos permite calcular rutas que consideren la seguridad en términos de incidencia de delitos reportados, ofreciendo así rutas más seguras a los usuarios.

Asimismo, vemos necesario no incluir otras variables como la densidad poblacional o la actividad comercial en diferentes franjas horarias, como por ejemplo zonas industriales durante ciertas horas del día. Esto debido a que creemos que la cantidad de robos por localidad en una franja horaria puede reflejar estos comportamientos.

## IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES DE DATOS

Para las fuentes de datos realizamos búsquedas en repositorios públicos de la ciudad para encontrar información relevante, por lo que se utilizarán fuentes abiertas al público, tanto del gobierno, para la malla vial integral de Bogotá, como de la secretaría distrital de seguridad, para la información de robos de celulares y de bicicletas.

Específicamente tenemos las siguientes fuentes de datos:

- Nombre de la fuente de datos: Datos abiertos Bogotá - Secretaría Distrital de Seguridad.
- Tipo de datos disponibles: Datos históricos.
- Origen de los datos: Fuentes externas.
- Frecuencia de actualización de los datos: Mensual.
- Cobertura y calidad de los datos: En general, encontramos que, para cada localidad hay su respectivo número de delitos junto con sus clasificaciones.
- Limitaciones o consideraciones importantes: Como se mencionó en el apartado de alcances y limitaciones, la información que se tiene en cuenta es el número de robos de celulares, a personas, y de bicicletas por localidad, de manera que no se consideran otras variables como lo pueden ser el tamaño, la población y los sectores de dicha localidad.
- Nombre de la fuente de datos: GeoJSON de la Malla Vial Integral Bogotá D.C.
- Tipo de datos disponibles: Datos geográficos estructurados en un formato estándar que describen las características físicas de las vías en Bogotá, incluyendo ubicaciones precisas y atributos asociados con cada segmento de vía.
- Origen de los datos: Página del gobierno con varios tipos de archivo con la malla vial de la ciudad de Bogotá. Fuentes externas.
- Frecuencia de actualización de los datos: Última actualización fue del año 2017.

- Cobertura y calidad de los datos: Los datos cubren toda la red vial dentro del perímetro urbano de Bogotá, incluyendo todas las localidades. La calidad de los datos es alta, con información detallada sobre cada segmento de vía.
- Limitaciones o consideraciones importantes: Aunque los datos geoJSON proporcionan información exhaustiva sobre la malla vial, la falta de actualizaciones frecuentes podría no reflejar construcciones recientes o cambios temporales en la configuración de las vías (como cierres por mantenimiento o eventos especiales)

## CONSTRUCCIÓN MODELO MATEMÁTICO

### DEFINIR LAS VARIABLES RELEVANTES

Identifica las variables que son relevantes para el problema y que pueden afectar o ser afectadas por las decisiones que se tomarán. Estas pueden ser variables de entrada, salida o intermedias en el caso de estudio que estás modelando.

Variable	Descripción
$X(i,j)$	Variable binaria que indica si se toma (1) o no se toma (0) la vía que conecta el nodo $i$ al nodo $j$ .
$S(i)$	Variable continua que representa el nivel de seguridad acumulado al llegar al nodo $i$ .

### IDENTIFICAR PARÁMETROS Y CONSTANTES

Identifica los parámetros y constantes que afectan el comportamiento del sistema. Estos pueden ser valores conocidos o estimados que no cambian durante la ejecución del modelo.

Nombre	Descripción
$C(i,j)$	Costo de inseguridad asociado a la vía que conecta el nodo $i$ con el nodo $j$ , basado en la incidencia de delitos reportados para esa vía o área.
$C_{max}$	Constante que define el máximo nivel de inseguridad aceptable para cualquier ruta propuesta.

### DEFINICIÓN DE CONJUNTOS E ÍNDICES

Identificar los conjuntos y sus elementos relevantes para representar categorías, grupos o colecciones de elementos relacionados en el problema. Asignar índices a los elementos dentro de los conjuntos para facilitar su referencia y manipulación en el modelo.

Nombre	Descripción
$N$	Conjunto de todos los nodos en el grafo (intersecciones y puntos de entrada/salida en la malla vial).
$A$	Conjunto de todas las aristas en el grafo, donde cada arista representa una vía que conecta dos nodos.
$i,j$	Índices que representan los nodos específicos en el grafo.

## SELECCIONAR EL TIPO DE MODELO

El modelo propuesto es un modelo de programación lineal entera mixta (MILP). El objetivo es minimizar únicamente la función de coste basada en la seguridad.

## FORMULACIÓN DE LA FUNCIÓN OBJETIVO

$$\min z = \sum_{(i,j)}^A C_{ij} \cdot X_{ij}$$

**Este modelo se centra en minimizar la suma total de los costos de inseguridad asociados con las vías seleccionadas, reflejando una preferencia por rutas con menor incidencia de delitos.**

## FORMULACIÓN DE RESTRICCIONES MATEMÁTICAS

Restricción de flujo:

$$\sum_{j:(i,j)}^A X_{ij} - \sum_{j:(j,i)}^A X_{ij} = 0, \forall i \in N \setminus \{inicio, fin\}$$

Restricción de ruta única:

$$\sum_{j:(inicio,j)}^A X_{inicio,j} = 1$$
$$\sum_{j:(j,fin)}^A X_{j,fin} = 1$$

Restricción de seguridad:

$$S_i \geq S_j + C_{ij} \cdot X_{ij} - M(1 - X_{ij}), \forall (j, i) \in A$$
$$S_i \leq C_{max}, \forall i \in N$$

## RESOLUCIÓN - INTERPRETACIÓN DEL MODELO

La resolución del modelo matemático para determinar rutas seguras en Bogotá, basado exclusivamente en el criterio de seguridad, ha demostrado ser viable en una escala pequeña. En las pruebas preliminares, donde se utilizó un conjunto limitado de datos de seguridad y una sección reducida de la malla vial, el modelo fue capaz de identificar rutas que minimizan la exposición a delitos de acuerdo con la información disponible. Sin embargo, para que el modelo sea aplicable a toda la ciudad y proporcionar recomendaciones de ruta más robustas y confiables, es crucial obtener datos de seguridad más recientes y completos. La actualización constante de estos datos es esencial, ya que los patrones de delincuencia pueden cambiar con el tiempo, afectando la relevancia y precisión de las recomendaciones de rutas seguras generadas por el modelo.

Además, una mejora significativa en la aplicación del modelo sería desarrollar un método para asignar con precisión los incidentes de delitos a los vértices específicos del grafo, es decir, las intersecciones y puntos de acceso en la red vial. Actualmente, los delitos se asignan a las vías basándose en la localidad

general, pero una localización más precisa al nivel de vértices permitiría una modelación de riesgos más detallada y personalizada. Este refinamiento ayudaría a que el modelo no solo evite áreas con altas tasas de delitos de forma general, sino que también maneje con mayor precisión las variaciones de seguridad dentro de una misma localidad. Trabajar en esta dirección no solo aumentará la precisión del modelo sino que también hará sus recomendaciones más pertinentes para los usuarios finales, mejorando así la seguridad percibida durante sus desplazamientos por la ciudad.

## VERIFICACIÓN DEL MODELO

En la etapa de verificación del modelo de rutas seguras para Bogotá, es fundamental analizar si el modelo aborda efectivamente el problema planteado. El objetivo principal es minimizar la exposición a delitos en el trayecto entre dos puntos, utilizando datos de seguridad y la malla vial de la ciudad. Las pruebas iniciales indican que el modelo es capaz de seleccionar rutas que cumplen con este criterio, demostrando así que se alinea con el problema de mejorar la seguridad de los desplazamientos urbanos. Sin embargo, es crucial verificar continuamente que los datos utilizados reflejen las condiciones actuales para mantener la relevancia del modelo.

En cuanto a la coherencia y lógica del modelo, este utiliza un enfoque de programación lineal entera mixta, centrado en minimizar los riesgos de seguridad. Este enfoque permite integrar de manera efectiva las variaciones en los niveles de delitos entre diferentes vías y localidades, lo que resulta en recomendaciones de rutas que son teóricamente sólidas. El modelo asume que las rutas con menor acumulación de riesgos son preferibles, lo que es una premisa lógica para usuarios preocupados por la seguridad.

Finalmente, en términos de sintonía con el mundo real, el modelo depende críticamente de la precisión y actualidad de los datos de delitos utilizados. Mientras que en un entorno controlado o en pruebas piloto el modelo puede funcionar bien, su aplicabilidad en el mundo real dependerá de su capacidad para actualizar y refinar continuamente esos datos. Además, la asignación de delitos a los vértices específicos del grafo podría ser un desafío significativo, dado que los datos de delitos a menudo no están disponibles a tal nivel de granularidad. Sin embargo, esfuerzos para mejorar la recopilación y análisis de datos podrían aumentar significativamente la utilidad práctica del modelo, haciendo que sus recomendaciones sean más precisas y, por lo tanto, más valiosas para los usuarios finales.

## BIBLIOGRAFÍA

- Fuente de datos de seguridad en: <https://datosabiertos.bogota.gov.co/dataset/delito-de-alto-impacto-bogota-d-c>
- Malla vial de Bogotá: <https://www.ideca.gov.co/recursos/mapas/malla-vial-integral-bogota-dc>
- Datos estadísticos: [En lo corrido de 2024, se han denunciado 1.218 hurtos al día | Cambio Colombia](#)
- Datos estadísticos: [Bogotá: inseguridad aumentó un 8% en lo que va de 2024 \(rtvnoticias.com\)](#)
- Datos estadísticos: [Inseguridad en Bogotá: la estrategia es integral e incluye la confianza en las instituciones \(unal.edu.co\)](#)