

Application of Binary Programming and Graph Theory for Optimal Camera Allocation in the Santa Elena Urbanization

Calderon-Limay Cesar, Estudiante Ing. Industrial¹, Mendoza-Diaz Aylin, Estudiante Ing. Industrial², Quispe-Vásquez Luis, Doctor en Ciencias Económicas³

^{1,3} Universidad Privada del Norte, Perú, *Perú*, n00264825@upn.pe, n00345030@upn.pe, luisquiva05@gmail.com

Abstract– *This research addressed the optimization of video surveillance camera placement using binary programming and graph theory in the Santa Elena neighborhood. In this context, the main objective of this project was to design a mathematical model to determine the optimal placement of video surveillance cameras, in order to maximize coverage of critical points and, consequently, strengthen citizen security. To achieve this, binary integer programming was applied, which allowed for the optimal selection of resources, and graph theory was also used to represent the connections and relationships between vulnerable areas. Furthermore, the research followed a quantitative approach with a non-experimental design, supported by the collection of data on crime rates and the spatial distribution of the neighborhood. As a result, it was evident that the proposal significantly reduced unmonitored areas and optimized resources compared to a traditional scheme, thus ensuring greater strategic coverage with fewer cameras. In summary, it is concluded that the integration of advanced mathematical tools constitutes an effective alternative for planning urban security systems, contributing to both crime prevention and improving the perception of security among the residents of Santa Elena. It is also applicable to other communities with similar problems.*

Keywords-- *Binary Programming, Graph Theory, Video Surveillance.*

Aplicación de la Programación Binaria y Teoría de grafos para una óptima asignación de cámaras en la urbanización Santa Elena

Calderon-Limay Cesar, Estudiante Ing. Industrial¹, Mendoza-Diaz Aylin, Estudiante Ing. Industrial², Quispe-Vásquez Luis, Doctor en Ciencias Económicas³

^{1,3} Universidad Privada del Norte, Perú, Perú, n00264825@upn.pe, n00345030@upn.pe, luisquiva05@gmail.com

Resumen– Esta investigación abordó la optimización de la ubicación de cámaras de videovigilancia mediante programación binaria y teoría de grafos en la urbanización Santa Elena. En este contexto, el presente proyecto tuvo como objetivo principal diseñar un modelo matemático que determinara la ubicación óptima de cámaras de videovigilancia, a fin de maximizar la cobertura de puntos críticos y, por ende, fortalecer la seguridad ciudadana. Para lograrlo, se aplicó la programación entera binaria, lo que permitió seleccionar y optimizar los recursos, y, además, se empleó la teoría de grafos para representar las conexiones y relaciones entre las zonas vulnerables. Asimismo, la investigación siguió un enfoque cuantitativo con diseño no experimental, respaldándose en la recopilación de datos sobre índices delictivos y la distribución espacial de la urbanización. Como resultado, se evidenció que la propuesta redujo considerablemente las zonas sin vigilancia y optimizó los recursos en comparación con un esquema tradicional, garantizando así una mayor cobertura estratégica con menos cámaras. En síntesis, se concluye que la integración de herramientas matemáticas avanzadas constituye una alternativa eficaz para planificar sistemas de seguridad urbana, lo que contribuye tanto a la prevención del delito como a mejorar la percepción de seguridad de los habitantes de Santa Elena, siendo aplicable también a otras comunidades con problemáticas semejantes.

Palabras clave– Programación Binaria, Teoría de grafos, videovigilancia.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el incremento de la inseguridad ciudadana se ha convertido en un factor clave para el desarrollo interno del país, lo cual genera en la población un clima de temor y desconfianza. Según Estadísticas de Seguridad Ciudadana [1], el 76,0% de denuncias fueron por delitos contra el patrimonio, 8,6% contra la seguridad pública, 5,9% contra la vida, el cuerpo y la salud, 5,9% contra la libertad, y 2,3% contra la administración pública, generando a su vez incertidumbre en los ciudadanos, quienes diariamente se esfuerzan por enfrentar la delincuencia y proteger, al menos, la seguridad de sus hogares. En este contexto, una alternativa viable sería la implementación de un sistema de ciberseguridad basado en cámaras de vigilancia, que contribuya a reforzar la prevención y el control en el ámbito urbano.

En aras de lograr una implementación eficiente del sistema, se recurrió a la aplicación de teoría de grafos e Investigación de Operaciones, teniendo su enfoque particularmente en la programación entera binaria, la investigación de operaciones (IO) es una disciplina que emplea métodos matemáticos y

estadísticos para abordar problemas complejos relacionados con la toma de decisiones. Su finalidad es optimizar la eficiencia y efectividad de las operaciones dentro de una organización, ofreciendo información valiosa que respalde el proceso decisorio [2].

De manera complementaria, la teoría de grafos constituye una herramienta analítica valiosa que permite identificar las zonas con mayor centralidad en el tráfico de datos o flujos, así como aquellas más aisladas dentro de una red, la teoría de grafos también permite resolver diversos problemas en múltiples áreas. Se aplica en ingeniería para el diseño de circuitos, contadores y sistemas de apertura; en dibujo computacional; y para modelar rutas óptimas, como trayectos de autobuses [3].

En Perú, al igual que en gran parte de Latinoamérica, el alto nivel de inseguridad provocado por la violencia y la delincuencia representa un obstáculo significativo para el desarrollo social y Cajamarca no es ajena a esta creciente problemática que afecta a diversas regiones del país; de hecho, el 82.7% de la población cajamarquina cree que será víctima y el 14.4% fueron víctimas [4], hecho que se evidencia en la urbanización de estudio. Ante esta situación, resulta indispensable que las autoridades destinen recursos a la implementación de sistemas de seguridad que promuevan, faciliten y fortalezcan la seguridad ciudadana, como es el caso del sistema de videovigilancia. Esta herramienta se constituye como un recurso esencial para la identificación y localización de delincuentes, en coordinación con Serenazgo y la Policía Nacional del Perú.

El barrio Santa Elena, según información proporcionada por la Policía Nacional del Perú, presenta una serie de problemáticas que afectan directamente la seguridad ciudadana y el orden público. En esta zona se han identificado múltiples puntos críticos con alta incidencia de delitos, principalmente robos y hurtos, lo que genera una sensación constante de inseguridad entre los vecinos y transeúntes. Además, se ha detectado la presencia de prostitución clandestina, una actividad que suele estar vinculada a redes ilegales y a condiciones de vulnerabilidad social, a ello se suma la ocurrencia frecuente de accidentes de tránsito, lo que evidencia posibles fallas en la infraestructura vial o en el cumplimiento de las normas de seguridad [5]. Esta convergencia de factores

convierte a Santa Elena en un sector prioritario para acciones integrales por parte de las autoridades, orientadas a reforzar la seguridad, restablecer el orden y elevar la calidad de vida de sus habitantes.

Ante una evidente situación donde las personas del barrio Santa Elena ven implicadas su integridad física a falta de sistemas de seguridad, la implementación de sistemas de videovigilancia se presenta como la alternativa más viable para mitigar dicha problemática, tomando en cuenta el nivel de aceptación de las autoridades competentes, así como los costos y la adecuada administración para su instalación y sostenibilidad. En este contexto, la problemática central radica en determinar la ubicación óptima de las cámaras, de modo que se garantice su eficacia operativa y se optimicen los recursos disponibles. De este modo, el impacto social del proyecto se evidencia en la medida en que dichas instituciones respalden y gestionen adecuadamente la información obtenida, lo cual asegura que las cámaras no se conviertan en simples dispositivos sin trascendencia.

Ante la situación actual del barrio Santa Elena, el uso de herramientas tecnológicas, en conjunto con metodologías matemáticas avanzadas, se presenta como un apoyo clave para la toma de decisiones informadas por parte de las autoridades. En particular, este estudio propone la aplicación de la Teoría de Grafos y la Programación Entera Binaria (PEB) como enfoques idóneos para modelar la instalación estratégica de cámaras de videovigilancia, priorizando tanto la cobertura eficiente como la reducción de costos, por ello se formula la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera la aplicación de la Programación Entera Binaria y la teoría de grafos permiten asignar adecuadamente cámaras de videovigilancia en la urbanización Santa Elena? Se ha considerado como objetivo general: Aplicar la programación binaria y la teoría de grafos para distribuir de manera óptima las cámaras de vigilancia en la urbanización Santa Elena. Y como objetivos específicos: Diagnosticar la situación actual de seguridad y los puntos críticos de delincuencia en la urbanización Santa Elena. Además, aplicar la teoría de grafos para representar las zonas de vigilancia y puntos de adyacencia. Así como, determinar la ubicación óptima de las cámaras de vigilancia mediante la aplicación de programación binaria con el uso del programa Solver. Para finalmente realizar una evaluación económica de la propuesta.

II. METODOLOGÍA

Tipo de estudio: Descriptiva propositiva, se optó por este tipo de investigación debido a que, como lo señala [6], la investigación descriptiva permite recolectar y organizar información cuantitativa de manera sistemática, con el fin de conocer con precisión las características, relaciones y patrones que se presentan en un fenómeno específico.

Procedimiento: La metodología se estructuró en cuatro etapas, desarrolladas progresivamente a lo largo del proceso de investigación, combinando análisis situacional, técnicas de investigación operativa y fundamentos de teoría de grafos para alcanzar una solución eficiente y aplicable en el contexto urbano.

Etapas 1: Se llevó a cabo un levantamiento de información en la urbanización Santa Elena, mediante visitas de campo, entrevistas a los vecinos y revisión de reportes brindados por la Policía Nacional del Perú. Para asegurar la validez del cuestionario, este fue revisado y verificado para una correcta pertinencia y claridad de las preguntas. La confiabilidad fue garantizada mediante una prueba piloto aplicada a un grupo reducido de vecinos, lo que permitió ajustar y afinar el instrumento antes de su aplicación definitiva. Esta etapa permitió identificar los puntos críticos con mayor incidencia delictiva para asegurar una distribución adecuada de los sistemas de videovigilancia en zonas de alta incidencia.

Etapas 2: Se utilizó la Teoría de Grafos para representar la urbanización como una red de nodos (puntos geográficos relevantes) y aristas (conexiones o caminos entre ellos). Esta modelación permitió visualizar la conectividad del entorno y evaluar la adyacencia mediante el modelo matemático y matriz, facilitando de esta manera la identificación de zonas clave para la videovigilancia.

Etapas 3: Con base en los nodos definidos en la fase anterior, se construyó un modelo de Programación Entera Binaria, el cual permitió seleccionar de manera óptima los puntos en los que deben instalarse cámaras de vigilancia. Para ello, se definieron:

- Variables binarias: asociadas a la instalación (1) o no (0) de una cámara en cada nodo.
- Función objetivo: maximizar la cobertura de zonas críticas y minimizar el uso de cámaras.
- Restricciones: La cobertura de cada cámara (radio de alcance) y la necesidad de evitar redundancias.

El modelo fue resuelto mediante el complemento Solver de Excel, herramienta que permitió encontrar una solución computacional eficiente para la asignación de recursos.

Etapas 4: Finalmente, se realizó una evaluación económica tomando en cuenta el costo - beneficio de la propuesta.

III. RESULTADOS

3.1. Diagnóstico de la comunidad

Con la finalidad de conocer mejor el área de trabajo se acudió a la recolección de datos de manera progresiva, en primer lugar, contamos con la información proporcionada en la ref. [7] donde señala que la región de Cajamarca evidencia una percepción de inseguridad creciente año con año, situación que se ve agravada por el bajo nivel de confianza hacia la Policía Nacional del Perú, que apenas llega al 24.7%. Por otra parte, según [8] entre los meses de enero y mayo del 2025, se han reportado en Cajamarca denuncias vinculadas a hechos delictivos como el hurto y el hurto agravado, siendo cifras considerables tratándose de 1,443,839 habitantes, cifras que se pueden apreciar en la Fig. 1.

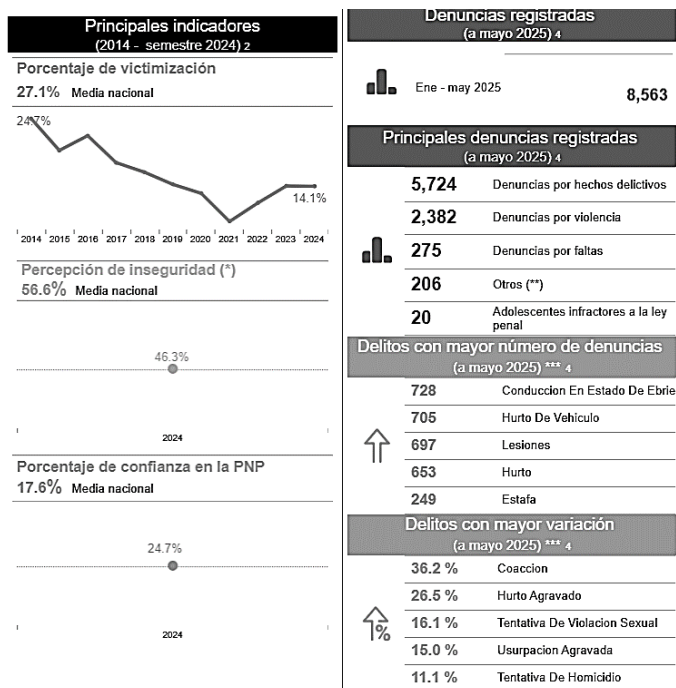


Fig. 1 Indicador regional de la seguridad en Cajamarca

En la Fig. 1 se muestra que, en Cajamarca, aunque la victimización disminuyó de 24.7% en 2014 a 14.1% en 2024; sin embargo, la percepción de inseguridad sigue siendo de un 46.3% y la confianza en la Policía Nacional del 24.7%. Entre enero y mayo de 2025 se registraron 8,563 denuncias, predominando los delitos de hurto, lesiones y conducción en estado de ebriedad, con un incremento de delitos graves como coacción y tentativa de violación sexual. Este panorama evidencia la necesidad de reforzar la seguridad ciudadana mediante la implementación de cámaras de vigilancia que contribuyan tanto a la prevención del delito como a la reducción de la percepción de inseguridad.

Aunque los estudios generales brindan una visión panorámica de la problemática de inseguridad en la ciudad, resulta indispensable profundizar en el análisis particular de este barrio. En esta línea, resulta útil contar con herramientas que permitan delimitar con mayor precisión el perímetro del barrio Santa Elena, así como identificar los principales focos de inseguridad presentes área afectada.



Fig. 2 Mapa del Perímetro en el Barrio Santa Elena - Google Maps

En la Fig. 2 se muestra el perímetro aproximado del barrio Santa Elena, delimitado mediante la herramienta de medición de Google Maps, el cual abarca una superficie de 96,134.05 m² y un perímetro de 1.68 km, lo que permite dimensionar el espacio físico de intervención en el que se plantea la instalación de sistemas de videovigilancia.

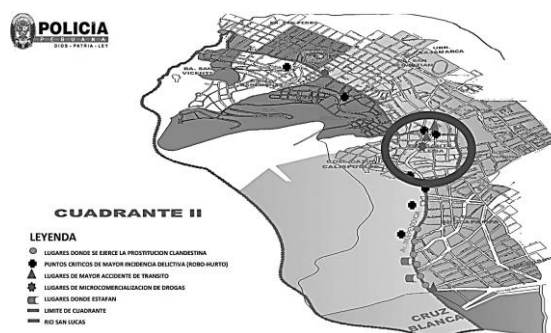


Fig. 3 Mapa de índice de delincuencia en Cajamarca

La Fig. 3 recuperada de la ref. [5], muestra el mapa del Cuadrante II elaborado por la Policía Nacional del Perú, donde se identifican focos de inseguridad en Cajamarca, ciudad que en 2019 contaba con aproximadamente 348,433 habitantes [9]. Si bien la urbanización Santa Elena se evidencia como un punto crítico de robos y hurtos, es necesario considerar que los datos reflejan sólo los casos reportados y no necesariamente la totalidad de incidentes, lo que obliga a complementar este diagnóstico con estadísticas actualizadas

Con base en la información recopilada previamente, el estudio consideró necesario profundizar el análisis de la situación actual en el barrio Santa Elena. Por ello, se aplicó una encuesta a la población local, orientada a recabar datos más objetivos y de primera mano que contribuyan a una comprensión integral de la problemática identificada.

TABLA I
PERCEPCIÓN DE SEGURIDAD EN EL BARRIO SANTA ELENA 2025

Preguntas	Resultados
¿Considera el barrio inseguro?	9 de cada 10 respondieron que sí.
¿Tiene conocimiento o ha sido víctima de algún delito en el barrio?	10 de cada 10 respondieron que sí.
¿Cuenta su calle con medidas de seguridad?	8 de cada 10 encuestados respondieron que no.
¿Qué calles considera más peligrosas?	Jirón Ramon Castilla, José Quiñones y Antenor Orrego.
¿Denunció el delito?	2 de cada 10 manifestaron que no.
¿Por qué no denunció?	Por falta de pruebas y deficiencia policial.
¿Cómo califica la respuesta policial?	5 de cada 10 no recibieron respuesta.
¿Le daría más seguridad contar con cámaras de videovigilancia?	7 de cada 10 respondieron que sí
¿Está de acuerdo con la implementación de cámaras?	10 de cada 10 respondieron que sí.

Los resultados de la encuesta evidencian una situación crítica de inseguridad en el barrio Santa Elena, donde 9 de cada 10 personas perciben el entorno como peligroso y la totalidad de los encuestados ha sido víctima o conoce de delitos en la zona. Esta problemática se agrava por la carencia de medidas de seguridad en la mayoría de las calles (8 de cada 10) y la identificación de zonas particularmente peligrosas como el Jirón Ramón Castilla, José Quiñones y Antenor Orrego. La baja denuncia (solo 2 de cada 10) obedece principalmente a la falta de pruebas y la deficiente actuación policial, aspecto que se confirma con la percepción de que 5 de cada 10 no recibieron respuesta de las autoridades. Sin embargo, la comunidad muestra disposición a soluciones tecnológicas, ya que 7 de cada 10 señalan que la instalación de cámaras de videovigilancia les generaría mayor seguridad y existe un respaldo unánime para su implementación, lo que refleja apertura a medidas de fortalecimiento de la seguridad ciudadana. Así mismo se hizo un diagrama de Pareto con la finalidad de reconocer los problemas más importantes de inseguridad en el barrio Santa Elena.

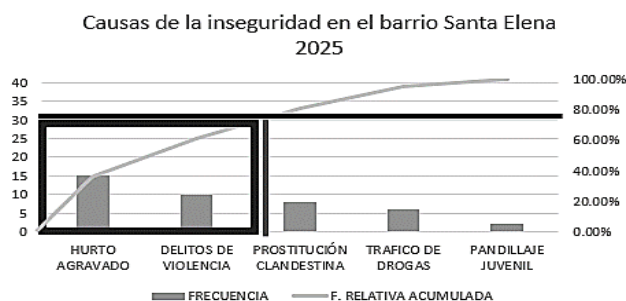


Fig.4 Diagrama de Pareto - causas de inseguridad en el barrio santa elena 2025

El diagrama de Pareto basado en datos de una encuesta realizada en el barrio Santa Elena, muestra que el hurto agravado y los delitos de violencia representan el 61% del total de incidentes, por lo que deben ser priorizados en las intervenciones. Las demás causas, como prostitución, tráfico de drogas y pandillaje, aunque relevantes, son secundarias según

el principio 80 - 20. El Principio de Pareto afirma que en todo grupo de elementos o factores una minoría de causas genera la mayoría de los efectos o problemas, mientras que la mayoría de causas tiene un impacto reducido [10].

3.2. Representación mediante la teoría de grafos

Teniendo en cuenta que al igual que las rutas de distribución, los grafos son estructuras discretas que constan de vértices conectados mediante arcos [11], en el siguiente estudio se optó por la aplicación de esta teoría considerando que un mapa de una ciudad que muestra calles con un solo sentido representa un grafo dirigido, donde los nodos son las intersecciones y las aristas las calles; si muestra calles en ambos sentidos, es un grafo no dirigido; mientras que un mapa que combina calles de un solo sentido y de doble sentido se considera un grafo mixto [3].

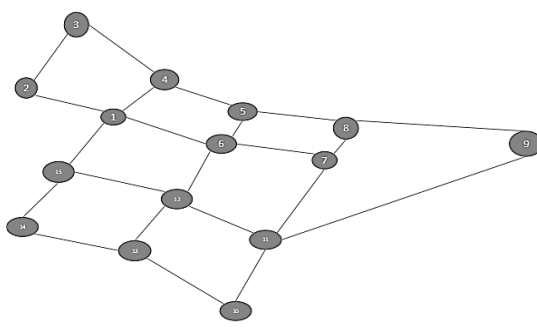


Fig. 5 Representación mediante grafos del barrio santa elena 2025

La Fig. 5 muestra el grado de conectividad de cada nodo en un grafo, indicando cuántas conexiones o aristas tiene cada uno. Se observa también que los nodos varían entre 2 y 4 conexiones, lo que sugiere una red moderadamente interconectada, donde algunos nodos funcionan como puntos clave con mayor número de conexiones (4), mientras que otros tienen menos enlaces (2 o 3), reflejando una distribución equilibrada de la conectividad en la estructura del grafo lo cual nos permite ver desde otro punto de vista al momento de asignar las cámaras en el barrio santa elena. Así mismo se puede aplicar matrices para una mejor representación y toma de decisiones.

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si el vértice } i \text{ es adyacente al vértice } j \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Fig. 6 Función característica de adyacencia

La Fig. 6 muestra la definición de la matriz de adyacencia, la cual establece que el elemento a_{ij} toma el valor de 1 si el vértice i es adyacente al vértice j y 0 en caso contrario. Esta representación matemática permite describir de manera sistemática las conexiones existentes entre los vértices de un grafo, facilitando la identificación de relaciones directas entre nodos y el análisis estructural de la red.

TABLA III
MATRIZ DE ADYACENCIA DEL GRAFO DE LA URBANIZACIÓN
SANTA ELENA 2025

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0
8	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0
12	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	1
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
15	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0

Esta matriz nos indica de forma clara qué puntos de la urbanización están conectados entre sí, mostrando las relaciones de proximidad o visibilidad entre las distintas zonas, lo que permite identificar áreas estratégicas para instalar cámaras de vigilancia, priorizar los lugares de mayor tránsito, y optimizar la cobertura de seguridad al evitar puntos ciegos o zonas aisladas.

3.3. Modelación matemática mediante Programación Entera Binaria (PEB)

La ubicación de las cámaras de seguridad ha sido establecida en puntos estratégicos, identificados previamente mediante un análisis detallado reflejado en el mapa anterior. Estos puntos están inversamente correlacionados con las calles que representan mayor riesgo para la comunidad, considerando un total de 12 ubicaciones y 24 vías evaluadas, como se detalla en la tabla 2. Esta metodología garantiza una cobertura óptima para fortalecer la seguridad en las zonas más vulnerables.

TABLA IV
PUNTOS ESTRATÉGICOS PARA LA COLOCACIÓN DE CÁMARAS EN
EL BARRIO SANTA ELENA 2025

PUNTOS	CALLE
Punto 1	Jr. Diego Ferré y Ramón Castilla
Punto 2	Jr. Ramón Castilla y América
Punto 3	Jr. América y Av. Independencia
Punto 4	Av. Independencia y Jr. Diego Ferre
Punto 5	Av. Independencia y Jr. José Quiñones
Punto 6	Jr. Ramón Castilla y José Quiñones

Punto 7	Jr. Ramón castilla y Antenor Orrego
Punto 8	Av. Independencia y Jr. Antenor Orrego
Punto 9	Sucre y Jr. José Olaya
Punto 10	Jr. Alfonso Ugarte y Antenor Orrego
Punto 11	Jr. José Olaya y Antenor Orrego
Punto 12	Jr. José Olaya y José Quiñones
Punto 13	Jr. Alfonso Ugarte y José Quiñones
Punto 14	Jr. Alfonso Ugarte y Diego Ferre
Punto 15	Jr. Diego Ferre y José Olaya

Como podemos observar en primera instancia se consideran todos los puntos o intersecciones como posibles puntos de asignación de cámaras para una cobertura integral de la zona, en este caso observamos que Santa Elena cuenta con 15 intersecciones para una posible asignación de cámaras.

TABLA V
VARIABLES DE DECISIÓN

x1: Punto donde se coloca la cámara
x2: Punto donde se coloca la cámara
x3: Punto donde se coloca la cámara
x4: Punto donde se coloca la cámara
x5: Punto donde se coloca la cámara
x6: Punto donde se coloca la cámara
x7: Punto donde se coloca la cámara
x8: Punto donde se coloca la cámara
x9: Punto donde se coloca la cámara
x10: Punto donde se coloca la cámara
x11: Punto donde se coloca la cámara
x12: Punto donde se coloca la cámara
x13: Punto donde se coloca la cámara
x14: Punto donde se coloca la cámara
x15: Punto donde se coloca la cámara

TABLA VI
DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES DE DECISIÓN

xi: 1; punto donde se colocará la cámara i
xi: 0; punto donde no se colocará ninguna cámara i

RESTRICCIONES

MIN Z:	$X1+X2+X3+X4+X5+X6+X7+X8+X9+X10+X11+X12+X13+X14+X15$	$\geq$	1
R1:	$X1+X4+X14+X15$	$\geq$	1
R2:	$X1+X2+X6+X7$	$\geq$	1
R3:	$X2+X3$	$\geq$	1
R4:	$X3+X4+X5+X8$	$\geq$	1
R5:	$X5+X6+X12+X13$	$\geq$	1
R6:	$X7+X8+X10+X11$	$\geq$	1
R7:	$X9$	$\geq$	1
R8:	$X9+X11+X12+X15$	$\geq$	1
R9:	$X10+X13+X14$	$\geq$	1

Con el objetivo de optimizar los costos y garantizar la mejor cobertura posible, se optó por aplicar técnicas de programación mediante el uso de Solver. Tal como se aprecia en el modelo matemático, la función objetivo se orienta a minimizar el costo asociado a la asignación de recursos, incorporando a su vez las restricciones que condicionan la viabilidad de la propuesta.

TABLA VII
DETERMINACIÓN DE LAS VARIABLES MEDIANTE SOLVER

VARIABLES	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	FO(MIN)=	5
VALOR FINAL	1	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0		
CANTIDAD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		

RESTRICCIONES	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	X11	X12	X13	X14	X15	=	BINARIOS
Diego Ferre	1			1										1	1	0	>= 1
Ramón Castilla	1	1				1	1									0	>= 1
América		1	1													0	>= 1
Av. Independencia			1	1	1			1								0	>= 1
José Quiñones					1	1					1	1				0	>= 1
Antenor Orrego							1	1		1	1					0	>= 1
Sucre									1							0	>= 1
José Olaya									1		1	1			1	0	>= 1
Alfonzo Ugarte										1			1	1		0	>= 1

Como resultado del análisis, se concluye que la instalación de únicamente cinco cámaras en la Urbanización Santa Elena es suficiente para cubrir la totalidad de las calles incluidas en el estudio. Esta asignación representa la alternativa más eficiente, al asegurar una vigilancia integral y facilitar la identificación precisa de posibles delincuentes. Cabe resaltar que cada calle cuenta con al menos una cámara de seguridad, lo que permite optimizar los recursos disponibles y fortalecer significativamente la seguridad en la zona.

TABLA VIII
RESULTADO ÓPTIMO

Variables óptimas	Jirones factibles
X1	Jr. Diego ferré y ramón castilla
X3	Jr. América y Av. Independencia
X5	Av. Independencia y Jr. José Quiñones
X9	Sucre y Jr. José Olaya
X10	Jr. Alfonso Ugarte y Antenor Orrego

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir del modelo de programación entera resuelto mediante Solver, se determina la ubicación óptima de las cinco cámaras de seguridad en puntos estratégicos de la Urbanización Santa Elena. Las variables óptimas indican su colocación en los siguientes cruces: Jr. Diego Ferre con Ramón Castilla (X1), Jr. América con Av. Independencia (X3), Av. Independencia con Jr. José Quiñones (X5), Sucre con Jr. José Olaya (X9) y Jr. Alfonso Ugarte con Antenor Orrego (X10). Esta distribución permite maximizar la cobertura de vigilancia y garantizar la supervisión efectiva de todas las calles consideradas en el estudio.

3.4. Evaluación económica

A. Costos

Para estimar la inversión requerida en la implementación del sistema de videovigilancia, se ha considerado un modelo de cámara de alta gama acorde a las necesidades del proyecto. A continuación, se presenta la Ilustración II proporcionada por [12], correspondiente a la Cámara de Seguridad Domo IR PTZ HIKVISION HK-DS2AE5232TI-A, seleccionada por sus características técnicas y su capacidad de cobertura eficiente en entornos urbanos.



Fig. 7 Cámara de seguridad Domo IR PTZ HIKVISION HK-DS2AE5232TI-A

En la Fig. 7 observamos las características del modelo HIKVISION HK-DS2AE5232TI-A, donde cada unidad tiene un costo de 686.11 USD, lo que representa una inversión total de 3430.57 USD para la implementación del sistema en el año 2025. Esta estimación contempla únicamente el componente tecnológico esencial, excluyendo costos operativos o de instalación. Únicamente el componente tecnológico esencial, excluyendo costos operativos. Según el análisis de requerimientos para la cobertura óptima del área, se proyecta la adquisición de 5 cámaras de seguridad tipo Domo IR PTZ.

TABLA IX
COSTOS DE LA PROPUESTA PARA LA ASIGNACIÓN DE CÁMARAS EN EL BARRIO SANTA ELENA 2025

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO	COSTOS
Unidades requeridas de cámaras	5	693.10 USD	3,465.50 USD
Costo de la mano de obra directa: 13.48 USD	10	1.71 USD	17.05 USD
Supervisión	1	17.40 USD	17.40 USD
Costo de mantenimiento de cámaras anuales	5	43.50 USD	217.50 USD
		TOTAL	3,717.51 USD

La evaluación económica integral del sistema de videovigilancia proyectado para la Urbanización Santa Elena muestra que la adquisición de los dispositivos representa la mayor proporción del presupuesto, mientras que la mano de obra y la supervisión técnica se han calculado en función de parámetros estándar de productividad y costo horario. Esta estimación permite proyectar una implementación eficiente y sostenible, garantizando el uso óptimo de los recursos conforme a criterios de racionalidad económica y operativa.

A. Beneficios

Por tratarse únicamente de una propuesta, se consideró pertinente analizar casos de investigaciones previas en las que se implementó el uso de cámaras de videovigilancia para combatir la inseguridad. En este análisis, se hará especial énfasis en los beneficios indirectos, los cuales, según [13] son el efecto dominó de su proyecto: impactos secundarios que se producen como subproductos de sus actividades principales. Estos elementos pueden ser más difíciles de detectar inicialmente, pero a menudo representan una parte significativa del verdadero impacto económico de un proyecto.

Considerando lo previamente señalado, es pertinente destacar que los beneficios esperados de la instalación de cámaras de videovigilancia, ya comprobados en experiencias previas a nivel internacional según [14], incluyen la prevención del delito, la mejora en la capacidad de respuesta ante emergencias, el apoyo a investigaciones, la seguridad vial, el uso más eficiente de recursos, el fortalecimiento de la percepción de seguridad ciudadana, la provisión de pruebas objetivas y la posibilidad de integración tecnológica con otros sistemas urbanos.

TABLA X
CASOS DE ÉXITO TRAS LA APLICACIÓN DE VIDEOVIGILANCIA

	Descripción del Caso de Éxito	Impacto
Londres, Reino Unido	Londres ha sido pionera en la instalación de cámaras de videovigilancia, especialmente en zonas céntricas.	Reducción del 51% en delitos violentos según estudio de la Universidad de Leicester; apoyo crucial en la resolución de casos criminales.
Chicago, Estados Unidos	Implementación de proyectos como “Array o Things” que integran cámaras con sensores para monitoreo en tiempo real.	Mejora en la seguridad pública y calidad de vida mediante la prevención y rápida respuesta ante incidentes.
Ciudad de México, México	Instalación estratégica de cámaras y creación del Centro de Control, Comando, Cómputo,	Disminución significativa de la delincuencia; agilización en intervenciones de

	Comunicaciones y Contacto Ciudadano (C5) desde 2015.	emergencia; mayor percepción de seguridad.
Varias ciudades en China	Amplia adopción de videovigilancia adaptada a diferentes contextos culturales y sociales, con integración tecnológica avanzada.	Monitoreo eficiente de la seguridad pública y prevención del crimen a gran escala en entornos urbanos diversos.

Con el fin de concluir y sintetizar los hallazgos, [15] señala que los gobiernos latinoamericanos han construido narrativas oficiales que destacan los beneficios de la videovigilancia como una herramienta potencial en materia de seguridad ciudadana, legitimando su uso e integrándose dentro de las estrategias locales y nacionales. Estas narrativas se socializan ante públicos específicos y la sociedad en general para justificar la implementación de sistemas de videovigilancia. No obstante, el análisis evidencia que, si bien se resaltan estos beneficios, el detalle específico de los mismos no se encuentra ampliamente explicitado en los programas nacionales, lo que refleja una brecha en la formalización y planeación de políticas públicas claras que orienten su uso eficaz y responsable.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A. Discusión

Después de observar los resultados se pudo apreciar que aplicar la programación entera binaria y la teoría de grafos para distribuir de manera óptima las cámaras de vigilancia en la urbanización Santa Elena, asegura una cobertura de las zonas críticas y a su vez optimiza el uso de recursos. Así mismo, en coherencia con el diagnóstico situacional se pudo identificar altos niveles de percepción de inseguridad hasta un 90 %, diferenciando con algunos datos de [8] quien menciona porcentajes muchos menores con respecto a la situación esto debido a que muchos de los casos delictivos no son denunciados.

Además, la representación mediante teoría de grafos facilitó modelar la red urbana como un sistema de nodos y aristas tal como lo menciona [3] quien comenta que los grafos se utilizan también para modelar trayectos como el de una línea de autobús a través de las calles de una ciudad, revelando la conectividad estructural y priorizando intersecciones clave, mientras que la programación entera binaria permite seleccionar estratégicamente cinco puntos de instalación óptima de cámaras, lo que asegura la cobertura integral del área con un mínimo de recursos concordando con la investigación de [16] quien comenta que la programación entera binaria es una herramienta clave para la toma de decisiones sobre la inclusión o exclusión de elementos, aplicable en diversos ámbitos, con la finalidad de optimizar resultados en problemas donde se debe decidir qué elementos incorporar.

Finalmente, tras evaluar la viabilidad económica, se confirmó que la inversión propuesta de 3,717.51 USD es razonable, la cual se considera accesible en función de los beneficios potenciales identificados, tales como la disuasión del delito, la provisión de evidencia en investigaciones y el refuerzo de la percepción de seguridad ciudadana. Estos beneficios se alinean con experiencias internacionales como las de Londres, Chicago y Ciudad de México, donde la implementación de videovigilancia ha reducido significativamente los índices delictivos [15]. Al respecto [17] señala que la gestión de políticas públicas tiene una influencia significativa en la seguridad ciudadana, dado que estas buscan proteger la integridad, la vida y la libertad de los ciudadanos, además de orientar la toma de decisiones para prevenir el delito. Esta perspectiva respalda la necesidad de que el sistema de videovigilancia propuesto esté acompañado de un compromiso institucional y de políticas públicas efectivas, pues solo así la tecnología podrá generar un verdadero impacto social.

B. Conclusiones

Después de un exhaustivo diagnóstico y óptimo modelado de asignación, se concluye que la urbanización Santa Elena presenta un alto nivel de inseguridad y que gracias a la identificación precisa de puntos críticos y la representación detallada mediante la teoría de grafos se logró comprender la estructura urbana y priorizar las zonas de mayor riesgo para una mejor vigilancia por medio de videovigilancia.

La aplicación de la programación entera binaria para la asignación de cámaras resultó ser una herramienta eficaz, al garantizar la cobertura total de las áreas vulnerables con un mínimo número de dispositivos. Esta optimización no solo mejora la eficiencia del sistema de seguridad, sino que también asegura un uso racional y económico de los recursos disponibles, fortaleciendo la toma de decisiones en materia de seguridad ciudadana.

Por último, la evaluación económica validó la viabilidad y sostenibilidad de la propuesta, ofreciendo una solución viable, replicable y eficiente para fortalecer la seguridad urbana en contextos con alta incidencia delictiva, siendo así que la efectividad de la propuesta no solo depende de su optimización técnica y viabilidad económica, sino también de la aceptación y aplicación del proyecto, así como de la capacidad de las autoridades para responder con responsabilidad y acción oportuna, garantizando así un modelo integral y sostenible de seguridad ciudadana en la urbanización Santa Elena. En síntesis, la propuesta demuestra que la combinación de modelos matemáticos y tecnológicos, junto con el compromiso de las autoridades, constituye una solución efectiva y sostenible para fortalecer la seguridad ciudadana en la urbanización Santa Elena.

AGRADECIMIENTO/RECONOCIMIENTO

En esta ocasión nos dirigimos especialmente a uno de los impulsores para la elaboración de este artículo, a nuestro docente Ing. Luis Quispe Vásquez quien desde su pasión por enseñar e instruir, compartió cada uno de sus conocimientos a lo largo de todo este proceso, por ello manifestamos no sólo nuestro agradecimiento y reconocimiento, sino también nuestra sincera admiración y respeto.

REFERENCIAS

- [1] «estadisticas-de-seguridad-ciudadana-enero-junio-2024.pdf». [En línea]. Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/estadisticas-de-seguridad-ciudadana-enero-junio-2024.pdf>
- [2] E. A. Y. Chang, S. D. V. Silva, y O. F. M. Carreño, «La investigación operativa y su incidencia en la toma de decisiones (Revisión)», *Roca Rev. Científico-Educ. Prov. Granma*, vol. 20, n.º 1, pp. 348-361, 2024.
- [3] «(anonymous)». [En línea]. Disponible en: https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_23/recursos/general/11072012/grafico3.pdf
- [4] V. M. T. Falcón, «MINISTERIO DEL INTERIOR».
- [5] «Microsoft PowerPoint - MAPA DEL DELITO 2018». [En línea]. Disponible en: <https://portal.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/documentos/obresec/CAJAMARCA.pdf>
- [6] «GUIA-INVESTIGACION-DESCRIPTIVA-20221.pdf». [En línea]. Disponible en: <https://files.pucp.edu.pe/facultad/educacion/wp-content/uploads/2022/04/28145648/GUIA-INVESTIGACION-DESCRIPTIVA-20221.pdf>
- [7] V. M. T. Falcón, «MINISTERIO DEL INTERIOR».
- [8] «Indicador Regional | Observatorio». [En línea]. Disponible en: <https://observatorio.mininter.gob.pe/content/indicador-regional>
- [9] «Instituto Nacional de Estadística e Informática». [En línea]. Disponible en: <https://m.inei.gob.pe/prensa/noticias/departamento-de-cajamarca-celebra-165-aniversario-11293/>
- [10] «Diagramde_pareto-libre.pdf». [En línea]. Disponible en: https://d1wqxts1xzle7.cloudfront.net/44144377/Diagramde_pareto-libre.pdf?1459094480=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DDiagrama_de_Pareto.pdf&Expires=1758532197&Signature=DLcQVUFFTSseIC2uQDGngcgd64wbR~GVHyYfEOJ8Re0Y8NIepxgC4~xUF52YjJDKXrBKDvYUMWEI0NRYf~JoOgMs~aDxwIpbYq0exygd2I6wp8A2Y8mAl8MFCafkMCLVaa9nJhnWAW8jGEuiH1cYp68sZGFZNVkGUHpfGyuiXMiuk1dK7lFLZBDLzjZtYzMRQmALww8T1L8ulF~zHxcpBkJGUXnFKk1TMm5p23xkwpFhBc3vx0Pi9RgFcdJone4FPfbMmArLyBlfC~y19jMwNyt7Y-52cGQgAkt3MIFD5fkFMuWb7OXxU6vt3EXuShpFYsxZKNH-psS7qPxmaTyQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA
- [11] I. G. García y Y. M. Z. Saldarriaga, *Introducción a la teoría de grafos: conceptos, algoritmos y aplicaciones*. Universidad del Norte, 2024.
- [12] «Cámara de Seguridad Domo IR Perú - Durango Peru Online», Durango Perú Online. [En línea]. Disponible en: <https://durangoperu.online/camaras-de-seguridad/camara-de-seguridad-domo-ir-ptz-hikvision-hk-ds2ae5232ti-a/>
- [13] «Differentiating Between Direct and Indirect Costs and Benefits in Projects - Agriculture Notes by Agriculture.Institute». [En línea]. Disponible en: <https://agriculture.institute/project-analysis/direct-vs-indirect-costs-benefits/>
- [14] L. C. J. López**, «Seguridad ciudadana y tecnología: uso, planeación y regulación de la videovigilancia en Latinoamérica», *Diké Rev. Investig. En Derecho Criminol. Consult. Jurid.*, n.º 27, pp. 1-23.
- [15] «Transformando Ciudades: El impacto positivo de las cámaras de videovigilancia en la seguridad urbana. - Secure Witness». [En línea]. Disponible en: <https://securewitness.com/blog/transformando-ciudades-el-impacto-positivo-de-las-camaras-de-videovigilancia-en-la-seguridad-urbana/>

[16] D. F. E. Alvarán, J. A. G. Hincapié, y J. H. R. Correa, «Aplicación de la programación entera binaria para resolver el problema simple de balanceo de línea de ensamble: un caso de estudio», n.º 50.

[17] A. Y. P. Ruiz, «Gestión de políticas públicas y seguridad ciudadana: Una revisión sistemática: Public policy management and citizen security: A systematic review», *LATAM Rev. Latinoam. Cienc. Soc. Humanidades*, vol. 5, n.º 4, pp. 3145-3156, ago. 2024, doi: 10.56712/latam.v5i4.2487.