

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DATOS INFORMATIVOS

TIPO DE CONVOCATORIA

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Interdisciplinario

Fecha de presentación (dd/mm/aa): 03/08/2017

Título del proyecto: **Modelos matemáticos para determinar la oferta y demanda de servicios policiales en el territorio nacional y su asignación óptima en el Ecuador.**

TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica

Investigación aplicada

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUCIÓN:

1. Departamento de Matemática

LÍNEA(S) DE INVESTIGACIÓN (verificable en el SAEW):

1. Investigación de Operaciones.

2. Modelos econométricos.

RESUMEN DE INFORMACIÓN DEL DIRECTOR Y COLABORADORES

Director

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS	Departamento	Título de mayor nivel y mención.
Salazar Montenegro María Fernanda	0603186396	20	Matemática	Doctora en Matemática Aplicada, PhD.

Codirector (Se aplica para todos los proyectos, el codirector será a su vez colaborador)

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS	Departamento	Título de mayor nivel y mención.
Gutiérrez Pombosa Sandra Elizabeth	1714305438	10	Matemática	Doctora en Matemática Aplicada, PhD.

Colaborador(es)

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS	Departamento	Título de mayor nivel y mención.
Recalde Calahorrano Diego Fernando	1712025335	10	Matemática	Doctor en Matemática Aplicada, PhD
Salazar Méndez Yasmín	1001719796	10	Matemática	Doctora en Economía, PhD.
Torres Gordillo Ramiro Daniel	1002563524	10	Matemática	Doctor en Matemática Aplicada, PhD.
Vaca Arellano Walter Polo	1704108297	10	Matemática	Doctor de Tercer Ciclo en Matemáticas Aplicadas, PhD.



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



<u>Colaboradores Externos</u>				
Apellidos y nombres	No. de identificación	HSS	Institución	Título de mayor nivel y mención.

* HSS = Horas Semana Semestre

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno Proyecto Semilla Proyecto Junior Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica Investigación Aplicada

DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTOS:
1. Departamento de Matemática.

LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:
1. Investigación de operaciones.
2. Modelos econométricos.

DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)

Ciencias Naturales y Exactas	X
Ingeniería y Tecnologías	
Ciencias Médicas	
Ciencias Agrícolas	
Ciencias Sociales	
Humanidades	

OBJETIVO SOCIOECONÓMICO (Marque X, solamente una opción)

Exploración y explotación del medio terrestre	
Ambiente	
Exploración y explotación del espacio	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras	
Energía	
Producción y tecnología industrial	
Salud	
Agricultura	
Educación	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos	
Defensa	X
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU)	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes	



1 Proyecto de Investigación
Título: Modelos matemáticos para determinar la oferta y demanda de servicios policiales en el territorio nacional y su asignación óptima en el Ecuador.
Resumen del proyecto (máximo 200 palabras) La Policía Nacional del Ecuador busca determinar técnicamente variables que midan la demanda de sus diversos servicios policiales en las diferentes unidades territoriales del país y, asimismo, generar métodos que permitan encontrar la distribución territorial óptima del personal policial a nivel nacional. Para el problema del estudio de la oferta y demanda de servicios policiales se plantea la elaboración de modelos econométricos en donde se aplicará la técnica de Sistema de Ecuaciones Simultáneas que involucra variables como número de crímenes per cápita, número de policías per cápita, ingreso per cápita y otras variables que serán determinadas según la literatura económica del crimen y que serán incluidas en el modelo dependiendo de la disponibilidad de las mismas. Por otro lado, para el problema de asignar el personal policial en forma óptima en el territorio ecuatoriano, se construirá un modelo de optimización que incluirá todas las condiciones de campo, las normativas vigentes y políticas que rigen el proceso de asignación, así como también los costos asociados a enviar un servidor policial desde una cierta ubicación hacia una determinada unidad territorial; obteniéndose así la distribución policial real que se verá en las unidades territoriales del país. Ambos modelos serán implementados computacionalmente.
Palabras clave (4-6): Economía del Crimen, Modelo de Ecuaciones Simultáneas, Modelo de asignación, Asignación policial.

2 Objetivos, limitaciones, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

- Determinar la oferta y la demanda de los servicios policiales en el territorio nacional y asignar de forma óptima el personal policial para que se satisfaga dicha demanda en cada zona del país.

2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Establecer un modelo econométrico de oferta y demanda de servicios policiales en territorio.
- b. Implementar computacionalmente el modelo econométrico de oferta y demanda de servicios policiales en territorio.
- c. Formular un modelo de asignación óptima para satisfacer la demanda de los servicios policiales a nivel nacional.
- d. Resolver el modelo de asignación óptima para satisfacer la demanda de los servicios policiales a nivel nacional e implementarlo computacionalmente.
- e. Divulgar científicamente los resultados obtenidos y publicarlos en revistas indexadas.

2.2 Limitaciones (Aspectos que quedan fuera del alcance del Proyecto de Investigación)

- a. En este Proyecto de Investigación no se realizarán tomas de datos ni se trabajará sobre la calidad de la información proporcionada por la Policía Nacional.
- b. La conexión de los productos informáticos asociados a este proyecto con otros equipos o sistemas de la Policía Nacional está fuera del alcance del presente Proyecto de Investigación.
- c. La asignación se hará a nivel zonal, de acuerdo a la división territorial de la Policía Nacional.

2.3 Hipótesis (Responden al problema de investigación)



- a. La oferta y demanda de servicios policiales en el territorio pueden determinarse con las variables que dispone la Policía Nacional.
- b. La asignación de policías en territorio, a nivel zonal, puede realizarse mediante modelos de Optimización Combinatoria (flujo de costo mínimo, flujo multiproducto, scheduling, otros), generando un proceso basado en modelos técnicos y científicos que respeten las políticas institucionales vigentes de la Policía Nacional.
- c. Se pueden generar métodos de solución eficientes para los modelos de optimización propuestos en este estudio, aun cuando su complejidad computacional sea del tipo NP-duro.
- d. Existe la información necesaria para formular un modelo de asignación.

2.4 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Modelo econométrico para el cálculo de la oferta y la demanda de los servicios policiales en el territorio nacional.
- b. Módulo informático que permita calcular la oferta y la demanda de los servicios policiales en el territorio nacional.
- c. Modelo de asignación para satisfacer la demanda de los servicios policiales a nivel nacional.
- d. Módulo informático que permita obtener la asignación óptima del personal policial en cada zona a nivel nacional usando el algoritmo del literal anterior.
- e. Dos publicaciones indexadas y divulgación de los resultados obtenidos en reconocidos congresos internacionales.

3 Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación

El artículo 163 de la Constitución de la República del Ecuador indica que la misión de la Policía Nacional es "...atender la seguridad ciudadana y el orden público, y proteger el libre ejercicio de los derechos y la seguridad de las personas dentro del territorio nacional."

Para el cumplimiento de su misión, el actual modelo preventivo la Policía Nacional ha seguido las normas establecidas por el Estado en cuanto a promover su propia descentralización y desconcentración, siendo el propósito de esta última, trasladar los servicios que ofrece la entidad de nivel nacional hasta cada dependencia de nivel zonal, provincial, distrital o circunvalar, para que los recursos económicos, las responsabilidades, los servicios y beneficios, no se concentren en ciertos lugares, sino que todo esto se administre, de manera equitativa y responsable, en todos los rincones del país.

El modelo actual de despliegue territorial de la Policía Nacional, es esencialmente de integración comunitaria basado en Unidades de Policía Comunitaria (U.P.C.), con **dotación fija** en 22 o 16 servidores policiales. La Policía Nacional busca un método que permita determinar técnicamente las variables que midan la demanda por las diversas prestaciones o servicios que realiza la Policía Nacional del Ecuador y asimismo generar métodos que permitan asignar técnicamente personal con optimización y priorización.

El impacto de tener buenas estimaciones de la demanda de servicios policiales en la sociedad, en cada una de las unidades territoriales del Ecuador, es importante pues permitirá conocer en qué sectores se tiene más o menos policías de los que se necesita; esto está claramente ligado a la percepción de seguridad de los ciudadanos, al sentirse y saberse más protegidos. Del lado institucional, permitirá a la Policía Nacional tomar acciones dentro de su modelo de gestión, mejorando inclusive el clima laboral debido a que se conocerá que la asignación a una u otra zona obedece a la necesidad real de la zona y se evitaría la sobrecarga de trabajo de algunos policías en algunos sectores versus la poca carga de trabajo de sus pares en otros.

En cuanto a la asignación óptima del personal, la importancia y relevancia de estos métodos descansa en ser una herramienta fundamental en la toma de decisiones para los mandos a cargo de realizar la verdadera asignación de los policías a las unidades territoriales. Es un tema de saber cuántos policías tengo y como los distribuyo en el territorio de forma óptima. Además de mejorar la eficiencia del proceso de asignación, de



optimizar recursos económicos y logísticos del Estado, ayudará también en el clima laboral ya que no habrá criterios subjetivos en la asignación del personal policial.

El equipo técnico de la Policía Nacional conoce de diversos modelos matemáticos que se han usado en otros países, en especial en Chile, para abordar los problemas mencionados. Afortunadamente, han concluido que en temas de defensa no se puede copiar modelos que no reflejan la realidad propia de nuestro país. Así es como ha surgido la presente colaboración. Tras una revisión de literatura en el área y con la experiencia de algunos profesores del Departamento de Matemática en el tema del estudio del crimen y seguridad ciudadana, se ha encontrado que determinar la oferta y demanda de servicios policiales es un problema que puede abordarse mediante Modelos Econométricos, en donde se determinarán las variables y sus pesos dentro de un modelo que finalmente permitirá conocer cuántos policías demanda cada unidad territorial.

Luego, conociendo la oferta y demanda de los servicios policiales, encontrar la asignación del personal policial en territorio es un problema que se enmarca claramente en la línea de investigación “Investigación de operaciones”, aquí se construirá un modelo de optimización que incluya todas las condiciones de campo que restringen el proceso de asignación, las variables corresponderán a los policías disponibles y la función objetivo reflejará el costo asociado a asignar un elemento policial a una determinada unidad territorial. El resultado de este proceso será la distribución óptima de los policías que, al finalizar el proyecto, se espera ver en las calles de cada unidad territorial del Ecuador.

4 Productos esperados

Tipo de Producto:	Marcar con una “X”
a. Publicaciones científicas (obligatorio);	X
b. Disertación a la comunidad politécnica;	
c. Trabajo de titulación de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Régimen Académico y la Normativa Interna de la EPN;	X
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	

5 Descripción, metodología y diseño del proyecto

5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

Hace dos décadas, encuestas realizadas en diversos países del mundo colocaban al crimen como uno de los principales motivos de preocupación de la población [1]. En la actualidad, el panorama parece no ser diferente. En América Latina, datos del Latinobarómetro (2013, 2014, 2015) colocan al crimen en las primeras posiciones de los temas que preocupan a los latinoamericanos. Sus consecuencias no solo se reflejarían en el bienestar de los habitantes sino que guardarían relación con las condiciones agregadas de un país. Por ejemplo, el nivel de desigualdad, la pobreza, el desempleo, el nivel de educación e inclusive las riquezas naturales estarían correlacionadas con el nivel de criminalidad [2][3] [4][5][6]. Esta aparente relación crimen-economía motivó el interés del estudio del crimen por parte de economistas, surgiendo la llamada “Economía del Crimen” y de la cual se reconoce a Becker¹ [7] como el pionero en el área.

Los análisis económicos del crimen son realizados desde dos perspectivas: 1) comportamiento criminal individual y 2) oferta y demanda de los servicios policiales. En lo relacionado con el comportamiento criminal, se puede considerar como punto de partida al modelo de Becker [7], el cual a pesar de ser objeto de controversias debido a los supuestos sobre los que se fundamenta, ha generado nuevas propuestas teóricas. El modelo se basa en la teórica económica tradicional de elección y por tanto, sostiene que los individuos

¹ Ganador del Premio Nobel de Economía (1992)



deciden adoptar un comportamiento criminal o no dependiendo de los riesgos, costos y beneficios asociados a la actividad criminal. Por el lado de la oferta y la demanda de servicios policiales, se considera que los agentes económicos realizan decisiones económicas considerando que actúan regidos por la racionalidad, el autointerés y que persiguen la maximización de su utilidad. En la propuesta teórica de Ehrlich [8] los agentes económicos involucrados en el modelo son: i) los criminales, ii) los propietarios de viviendas y negocios, y iii) el gobierno. *Grosso modo*, el modelo considera que la interacción entre los diferentes actores genera la oferta y la demanda. De esta forma, la “oferta” del crimen viene dada por la actividad de los delincuentes y la necesidad de protección de la sociedad determina la “demanda”. El gobierno interviene en las dos partes (directamente en la demanda e indirectamente en la oferta). En ese contexto, se revela la eminente presencia de endogeneidad, pues la oferta de crímenes estaría en función del número de policías, no obstante, la demanda por policías es una función de la tasa de criminalidad. Por tanto, para controlar este problema, que se traduce en estimadores sesgados e ineficientes [9], la literatura relacionada con la oferta y demanda de servicios policiales usa el siguiente método de Sistemas de Ecuaciones Simultáneas (SEMs):

$$\text{Crimen} = \alpha_1 \text{Policías} + \beta_{10} + \beta_1 \text{ingreso} + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$\text{Policías} = \alpha_2 \text{Crimen} + \beta_{20} + \beta_2 (\text{otras variables}) + \varepsilon_2 \quad (2)$$

Donde: Crimen es el número de crímenes per cápita, Policías es el número de policías per cápita, Ingreso es el ingreso per cápita (en dólares y en precios constantes) y Otras variables son aquellas que serán determinadas según la literatura económica del crimen y que serán incluidas en el modelo dependiendo de la disponibilidad de las mismas.

En este proyecto, el modelamiento de la oferta y demanda de servicios policiales será llamado Fase I. En ella se realizará la identificación de variables a nivel zonal que influyen en la oferta y la demanda de servicios policiales, seguirá el planteamiento del modelo econométrico y del Sistema de Ecuaciones Simultáneas, su validación, implementación y la generación de resultados finales. Adicionalmente, habrá actividades de prueba y de retroalimentación por parte de la Policía Nacional hasta llegar al modelo definitivo.

Las condiciones macroeconómicas cambiantes y la constante demanda por más seguridad, con consecuencias sociales, económicas y políticas, hace que las agencias policiales busquen métodos de asignación óptimos, es decir brindar más seguridad con menos recursos y la Policía Nacional no es la excepción.

La aplicación de la Investigación de Operaciones (IO) en el estudio de Operaciones militares y del Crimen y la Justicia tiene a su haber investigaciones que datan de los años setenta en donde se destacan compilaciones sobre técnicas de modelamiento dadas por Brounstein y Kamrass [10] y Greenberg [11]. Luego, el desarrollo ha sido amplio teniéndose aplicaciones sobre temas como: Planificación de horarios policiales, Modelos de ruteo para patrullas, Optimización del tiempo de respuesta policial, Modelamiento para la ubicación de recursos y personal policial, entre otros. Se considera que el uso de IO en esta área ha sido un éxito [12].

En este Proyecto, al desarrollo del modelo de asignación óptimo se le llamará Fase II. Esta fase empezará con el estudio de la situación inicial en donde se identificarán las características principales del problema, respondiendo preguntas tales como: ¿cuál es la demanda de servicios policiales en las zonas del país?, ¿con cuántos policías cuenta la Policía Nacional para su trabajo en territorio?, ¿cuáles son las políticas actuales para la asignación de policías?, ¿Cuál es la evaluación del proceso de asignación actual?, entre otras. Luego, se formulará el modelo que busca una asignación óptima de policías a zonas territoriales, de acuerdo a la oferta de servicios policiales, a la demanda de ellos en las zonas, al costo que implica enviar un policía a un determinado sector y otras restricciones que rigen el proceso de asignación; de manera que se pueda satisfacer toda la demanda de la zona al menor costo posible. El problema base puede plantearse como un modelo de flujo de costo mínimo [13] considerando una red formada por nodos y arcos con capacidades y costos, algunos nodos representan concentración de oferta mientras que los otros representan las zonas con su demanda. Un arco entre un par de nodos significa que es posible enviar policías desde una ubicación de origen dada hacia una zona destino dada; el costo sobre ese arco es el costo de la operación individual de asignación y la capacidad del arco fija el número máximo de policías que podrían usar esa conexión entre ese origen y ese destino. Formalmente, el modelo de flujo de costo mínimo se formula así:

PFCM

$$\min \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

sujeto a

$$\sum_{j:(i,j) \in A} x_{ij} - \sum_{j:(j,i) \in A} x_{ij} = b(i), \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$l_{ij} \leq x_{ij} \leq \mu_{ij}, \quad \forall (i,j) \in A \quad (3)$$



En donde, c_{ij} es el costo de enviar flujo x_{ij} a través de un arco (i,j) , cuya capacidad mínima es l_{ij} y máxima μ_{ij} . El objetivo (1) es minimizar el costo total de enviar el flujo a través de los arcos (policías a zonas), respetando los límites inferiores y superiores de capacidad (3) y satisfaciendo las demandas $b(i)$ de los nodos i en el conjunto de nodos N , (2).

Es importante mencionar que, dependiendo de los datos y necesidades reales de la Policía Nacional, el modelo podría cambiar a uno de Flujo Multiproducto [13] o inclusive podría generarse un Modelo de optimización nuevo que incluya todas las particularidades del problema, posiblemente del área de Scheduling (calendarización) que ha sido estudiada de forma intensa en los últimos 50 años y cuenta con técnicas de modelamiento y solución de vanguardia [14].

Como tercer paso se estudiará la complejidad de los modelos planteados y se definirá el método de solución más adecuado: exacto o de aproximación. Seguiremos con la implementación computacional de el/los modelos de optimización descritos anteriormente en C++ o software especializado como SCIP, Gurobi u otro, y se terminará con una etapa de pruebas computacionales y calibración de resultados para analizar la consistencia de las soluciones. Los resultados se pondrán en consideración de la Policía Nacional con el fin de obtener una retroalimentación y el modelo de asignación final.

1. Becsi, Z. (1999). Economics and Crimen in the States. *Economic Review*, v (1), 4.
2. Buonanno, P.; Vargas, J. (2017). Inequality, crime, and the long-run legacy of slavery. *Inter-American Development Bank Working Paper Series*, 793.
3. Kelly, M. 2000. Inequality and Crime. *Review of Economics and Statistics*, v. 82(4): 530-539.
4. Bourguignon, F. (1999). Crime as a Social Cost of Poverty and Inequality: A Review Focusing on Developing Countries. *Revista Desarrollo y Sociedad*, v. 44(5).
5. Imrohoroglu, A., Merlo, A; Rupert, P. (2000). On the Political Economy of Income Redistribution and Crime. *International Economic Review*, v. 41(1): 1-25.
6. Allen, R. (1996). Socioeconomic Conditions and Property Crime. *American Journal of Economics and Sociology*, v. 55 (3): 293-308.
7. Becker, G. (1968). Crime and Punishment: An Economic Approach. *Journal of Political Economy*, v. 76: 169-217.
8. Ehrlich, I. (1996). Crime, Punishment, and the Market for Offenses. *Journal of Economic Perspectives*, v. 10: 43-67.
9. Greene, W. (2012) *Econometric Analysis*. 7th Edition, Ed. Pearson.
10. Brounstein, S.H., Kamrass, M. (eds) (1976). *Operations Research in Law Enforcement, Justice and Societal Security*, Lexington Books, Lexington, MA.
11. Greenberg, D.F. (1979). *Mathematical Criminology*, Rutgers University Press, New Brunswick.
12. Pollock, S.M.; Rothkopf, M.H.; Barnett, A. (1994). Operations Research and the public sector. *Handbooks in Operations Research and Management Science*. v. 6(4,7): 67-106, 201-262.
13. Ahuja, R.K., Magnanti, T.L., Orlin, J. (1993). *Network Flows. Theory Algorithms and applications*. New Jersey. Prentice Hall.
14. Leung, J., Anderson, J. (2004). *Handbook of Scheduling. Algorithms, Models, and Performance Analysis*. Chapman and Hall/CRC.

6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

6.1 Infraestructura y equipos

- Indicar la infraestructura y equipos **disponibles** para la ejecución del proyecto, con la ubicación actual de los mismos

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Oficina ADM-8N-03	Computador de escritorio Hacer	Oficina ADM-8N-03, Departamento de Matemática
Oficina ADM-8N-08	Impresora Xerox WorkCentre 6505	Oficina ADM-8N-03, Departamento de Matemática
Oficina ADM-7N-04	Computador de escritorio Dell	Oficina ADM-8N-08, Departamento de Matemática
Oficina ADM-7S-05	Impresora Canon Pixma	Oficina ADM-8N-08,



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN Y PROYECCIÓN SOCIAL



	MX320	Departamento de matemática
Oficina ADM-8N-05	Grabadora de voz Sony	Oficina ADM-8N-08, Departamento de Matemática
	Computador de escritorio Mac	Oficina ADM-7S-05, Departamento de Matemática
	Computador de escritorio tipo clon I7	Oficina ADM-7N-04, Departamento de Matemática

6.2 Breve justificación del equipo requerido

Se solicitan tres ordenadores portátiles de las cuales una será asignada a un profesor colaborador, y dos serán el centro de trabajo de los cuatro ayudantes de investigación. Por otro lado, para tener autonomía en reuniones tanto internas como externas con la Policía Nacional, vemos conveniente la adquisición de un proyector y de un disco duro externo considerando que se espera manejar un gran volumen de datos e información, además nos permitirá almacenar en forma cierta, independiente y organizada toda la información referente al proyecto. El equipamiento solicitado se ubicará en el Departamento de Matemática de la Escuela Politécnica Nacional y estará bajo custodia del Director del Proyecto.

6.3 Fondos Adicionales

No aplica