



A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNO SIN FINANCIAMIENTO

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN:

Básica		Aplicada	X
--------	--	----------	---

2. UNIDAD EJECUTORA (*Departamento, Instituto o Estructura de Investigación*):

1. Departamento de Matemática

3. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. Investigación de Operaciones

4. TÍTULO DEL PROYECTO (*mínimo 10 palabras*):

Estudio de la problemática de asignación de fiscales en el Ecuador: Una propuesta de solución desde la Programación Lineal.

5. RESUMEN (*máximo 200 palabras*)

Este proyecto trata sobre la optimización del proceso de asignar fiscales a Fiscalías a nivel cantonal en el Ecuador, de modo que se incluyan variables y condiciones específicas del sistema judicial ecuatoriano, con el objetivo de mejorar el uso de recursos humanos de la Fiscalía General del Estado (FGE) y el acceso a la justicia de todas las personas que residen en el país. En primera instancia, se realizará un análisis de situación inicial tanto técnico como legal. Luego, se determinará la demanda de fiscales de acuerdo a la cantidad de trámites y sus tiempos promedio de atención. El núcleo de este trabajo consiste en formular un modelo de Programación Lineal para la asignación óptima de fiscales, construido con información de la población a nivel cantonal, el número actual de fiscales, datos de carga laboral y otros que aparezcan durante la investigación y que puedan relacionarse con la eficiencia de todo el sistema. Finalmente, se aplicarán técnicas de Optimización Combinatoria para resolver el modelo de asignación, ya sea de forma exacta o mediante algoritmos heurísticos, y se presentarán los resultados obtenidos a la Dirección de Estadísticas de la FGE de modo que sean un insumo para la toma de decisiones.

6. PALABRAS CLAVE (*4-6*)

Programación Lineal, Heurísticas, Modelo de asignación, Administración de justicia.

7. OBJETIVOS

7.1. OBJETIVO GENERAL

Estudiar el problema de asignación de fiscales en el Ecuador mediante modelos de Programación Lineal para determinar la asignación óptima en el territorio nacional.

7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el proceso de asignación actual y el marco legal asociado al problema de estudio.
- Generar estadísticas sobre la información disponible en la Fiscalía General del Estado relacionada con el problema de estudio.
- Formular un modelo de programación lineal para la asignación óptima de fiscales a nivel nacional.
- Definir métodos de solución para el modelo de asignación óptima de fiscales ya sea de forma exacta o mediante heurísticas.



- e. Resolver el modelo de asignación óptima con datos reales.
- f. Elaboración de un artículo técnico.

8. HIPÓTESIS (opcional)

- a. El problema de asignar fiscales en el Ecuador admite una formulación con técnicas de Programación Lineal.
- b. Se pueden generar métodos de solución eficientes para los modelos de optimización propuestos en este estudio, aun cuando su complejidad sea del tipo NP-duro.
- c. Existe acceso a los datos reales necesarios para verificar el comportamiento del modelo de optimización y la eficiencia de los métodos de solución planteados en el proyecto.
- d. La Dirección de Estadística y Sistemas de Información de la Fiscalía General del Estado entregará en forma oportuna la información necesaria para realizar esta investigación.

9. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS (con relación a los objetivos)

- a. Informe de situación inicial y marco legal asociado al proyecto.
- b. Informe de estadísticas sobre la información disponible en la Fiscalía General del Estado relacionada con el problema de estudio.
- c. Modelo de asignación óptima de fiscales a nivel nacional.
- d. Algoritmo de solución para el modelo de asignación.
- e. Reporte de resultados.
- f. Artículo científico o exposición en un congreso internacional evaluado por pares.

10. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN (científico, social, económico u otros (máximo una carilla))

La Fiscalía General del Estado (FGE) es el ente que se encarga de sugerir la asignación de fiscales a nivel nacional al Consejo de la Judicatura. Hasta el año 2019, este proceso se ha realizado sin contar con una metodología documentada que permita observar el procedimiento ya sea para modificarlo, mantenerlo o reemplazarlo. En 2020, la Dirección de Estadística y Sistemas de Información de la FGE ha generado una metodología que, hasta donde se conoce, incluye por primera vez un criterio de optimización relacionado con el análisis de la carga laboral de los fiscales a nivel nacional. Sin embargo, la misma Dirección es consciente que se requiere de un modelo de optimización más completo para el mencionado proceso.

En primer lugar, contar con una metodología técnica para la determinación óptima del número de agentes fiscales y fiscales de adolescentes infractores que se demanda a nivel cantonal, permitirá mejorar la efectividad del uso de los recursos de la FGE y evidenciar el déficit de fiscales existente, lo cual se enmarca dentro de las aplicaciones de la Investigación de Operaciones en el sector público y sería un primer aporte de esta investigación. Además, una asignación técnica y óptima se traducirá en mejorar las condiciones de acceso a la justicia para todos los ciudadanos ecuatorianos, lo que constituye el principal impacto de esta investigación, pues mostrará que el país trabaja en pro del cumplimiento de la Declaración Universal de Derechos Humanos en lo que se refiere al acceso a justicia de sus ciudadanos, como se indica en sus Artículos 7, 8 y 11 (ONU, 2021).

En este contexto, a través de este proyecto de investigación, la Escuela Politécnica Nacional (EPN) contribuirá con la provisión de información cuantitativa que apoye la gestión de la Fiscalía General del Estado y a la toma de decisiones relevantes para el país, lo que se traducirá en un posicionamiento institucional importante de cara a la sociedad.

Desde el punto de vista científico, el impacto del presente proyecto de investigación radica en aumentar la productividad del grupo de investigación en Optimización Discreta, Combinatoria e Investigación de Operaciones ODCOR de la EPN.



11. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO (máximo tres carillas)

Los métodos de Programación Lineal brindan soporte para una utilización eficiente de recursos en situaciones complejas. Vastos volúmenes de revistas científicas están dedicados a las aplicaciones de estas técnicas en diversas áreas, principalmente para la asignación, calendarización o planificación de actividades, así como el desarrollo de algoritmos de solución eficientes. Estos métodos han sido utilizados con éxito en diferentes ámbitos tales como: Alimentación y Agricultura, Salud, Administración de Negocios, Administración Pública, Planificación Industrial, Diseño y Planificación de Redes de Transporte, entre muchos otros (Pollock et al., 1994). En estas aplicaciones surge una pregunta natural: ¿Cuál es la mejor asignación de recursos o personal para ejecutar o completar determinada tarea? En particular, el problema de asignación, es un problema de Optimización Combinatoria, en el cual se busca minimizar el costo de asignar un conjunto de recursos para satisfacer restricciones de compleción de tareas específicas tales como trabajadores a máquinas, empleados a proyectos, deportistas a pruebas, entre otros. El problema de asignación ha sido estudiado ampliamente por más de cinco décadas como una variante del famoso Problema del Agente viajero (TSP), como se especifica en (Schrijver, 2005).

En el ámbito judicial, se busca administrar justicia de manera eficiente y rápida debido a la prescripción de flagrancias, prisiones preventivas o tiempo específico de procesamiento de acuerdo con el tipo de delito. Se tienen registros de algunas aplicaciones en las cuales se utilizan métodos de optimización. Entre las más recientes mencionadas en la literatura y ligadas al tema de este proyecto, (Wongsinlatam et al., 2016) presentan la solución a un modelo de Programación Lineal Entera y Mixta para la maximización de la efectividad de la asignación de casos en una corte de justicia utilizando Optimización Metaheurística. En (Wongsinlatam et al., 2018), se realiza la implementación y comparación de algoritmos computacionales para resolver el problema de asignación de casos en un sistema judicial. Por otro lado, existen casos en los cuales también se ha podido medir la eficiencia del sistema judicial tal como lo muestran (Peyrache y Zago, 2016), en su trabajo se analiza el número óptimo de casos que debería manejar un distrito para una administración eficiente de justicia en Italia.

Bibliografía (Normas APA)

- [1]. 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.
- [2]. Schrijver, A. (2005). On the history of combinatorial optimization (till 1960). *Handbooks in operations research and management science*, 12, 1-68.
- [3]. Wongsinlatam, W., Pimpila, K., Wongphat, A., & Buchitchon, S. (2016). Mixed Integer Linear Programming for Maximizing Effectiveness of Case Assignment in Court of Justice Using Metaheuristic Optimization. *International Journal of Mathematical and Computational Methods*, 1.
- [4]. Wongsinlatam, W., & Buchitchon, S. (2018, July). The comparison between dragonflies algorithm and fireflies algorithm for court case administration: a mixed integer linear programming. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1061, No. 1, p. 012005).
- [5]. Peyrache, A., & Zago, A. (2016). Large courts, small justice!: The inefficiency and the optimal structure of the Italian justice sector. *Omega*, 64, 42-56.

El equipo de investigadoras que participan en este proyecto pertenecen al grupo de investigación ODCOR de la EPN y cuentan con experiencia en trabajos relacionados tanto con la optimización en el sector público como con organizaciones sin fines de lucro. A continuación, se muestran las publicaciones más recientes relacionadas con el proyecto:



- Miniguano-Trujillo, A., Salazar, F., Torres, R., Arias, P., Sotomayor, K. (2021). *An integer programming model to assign patients based on mental health impact for tele-psychotherapy intervention during the Covid-19 emergency*. Health Care Management Science. Springer. Aceptado para publicación.
- Gutiérrez, S., Miniguano-Trujillo, A., Recalde, D., Torres, L., Torres, R. (2019). *The Integrated Vehicle and Pollster Routing Problem*. Preprint.
- Salazar, F., Gutiérrez, S., Nolivos, K. (2015). *Modelo de Flujo de Costo Mínimo para la Asignación de Estudiantes a Instituciones Educativas en el Sistema de Educación Público Ecuatoriano*. Revista Politécnica, 35(2), 141.

12. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA (máximo tres carillas)

De acuerdo al Artículo 8 de la Declaración Universal de Derechos Humanos, aprobada por la Organización de Naciones Unidas en 1948 (ONU, 2021) *Toda persona tiene derecho a un recurso efectivo ante los tribunales nacionales competentes, que la ampare contra actos que violen sus derechos fundamentales reconocidos por la constitución o por la ley*. En este proyecto se tratará de mejorar lo referente al *recurso efectivo* mediante una redistribución de agentes fiscales y fiscales de adolescentes infractores en todo el territorio nacional, de forma que por un lado se amplíe el acceso a justicia de los ciudadanos y, por otro, se tenga en cuenta la carga laboral de los funcionarios; es decir, se desea mejorar la efectividad del uso de los recursos humanos de la FGE.

En el Ecuador, la Dirección de Estadística y Sistemas de Información de la FGE, dentro de sus competencias, en 2020 ha desarrollado un primer modelo de asignación de fiscales con el objetivo de determinar su número óptimo y el déficit a escala provincial y cantonal, de manera que se minimicen las diferencias del nivel de carga laboral entre provincias, y entre cantones de una misma provincia, cumpliendo la meta del indicador *Tasa de fiscales* de ocho por cada cien habitantes de acuerdo al Plan Nacional de Desarrollo, siendo éste el único documento técnico que se conoce para la asignación de fiscales. Con base en esta primera experiencia, la mencionada Dirección se ha planteado dos nuevos objetivos que consisten en determinar técnicamente una nueva tasa de fiscales por cada cien mil habitantes y en asignar fiscales a Fiscalías mediante un modelo técnico que incluya los datos y condiciones que intervienen en tal proceso de forma global; por ejemplo, se requiere información de población proyectada al 2020, número de fiscales actualizado a la fecha de la investigación de acuerdo a la Dirección de Talento Humano de la FGE, el número de noticias del delito (denuncias) que constan en el Sistema de Información de la Fiscalía, entre otras. Así pues, desde el ámbito de la Optimización Combinatoria, en este proyecto se buscarán métodos de asignación óptimos que permitan alcanzar tales objetivos.

Este proyecto empezará con una primera fase en la que se realizará un estudio de la situación inicial y la estimación del número de fiscales que se demanda a nivel nacional. En el primer caso, se identificarán las características principales del problema, respondiendo preguntas tales como: ¿cuál es la demanda de agentes fiscales y fiscales de adolescentes infractores?, ¿con cuántos agentes fiscales y fiscales de adolescentes infractores se cuenta a nivel cantonal?, ¿cuáles son las políticas actuales para su asignación?, ¿Cuál es la evaluación del proceso de asignación actual?, entre otras. En el segundo caso, se tomará como base principal la información sobre las noticias del delito y el tiempo promedio de atención de los diferentes casos judiciales, para dejar de lado la tasa de ocho fiscales por cada cien mil habitantes y adoptar un valor que corresponda a la realidad del sistema judicial ecuatoriano. A partir de allí, el modelo de asignación se desarrollará utilizando la metodología usualmente aplicada en los proyectos de investigación en el campo de la Optimización Combinatoria:

- **Formulación de un modelo de Programación Lineal:** En esta etapa se construirá un modelo que permita encontrar una asignación óptima de agentes fiscales y fiscales de adolescentes infractores en cada cantón del país, de acuerdo a la oferta y demanda, carga laboral y otras restricciones que rigen el proceso de asignación. Un programa lineal (PL) es un problema de optimización que cuenta con una función objetivo lineal que debe ser maximizada o minimizada, un conjunto de restricciones lineales y un conjunto de restricciones de no negatividad sobre las variables de decisión (Ahuja et al., 1993).



Cuando en este último conjunto de restricciones se exige que todas las variables tomen únicamente valores enteros se dice que el problema es un programa entero (IP) mientras que, si las variables pueden tomar tanto valores no negativos en los reales como valores enteros, se tiene un problema de programación entera mixta (MILP). De acuerdo a la naturaleza del problema y dependiendo de los datos y necesidades reales de la FGE, el modelo resultante de esta investigación podría ser del tipo de Flujo de Costo Mínimo o Flujo Multiproducto (Ahuja et al., 1993), Scheduling (Leung y Anderson, 2004) o podría generarse un modelo de optimización específico que incluya todas las particularidades del problema.

Como una primera aproximación, se conoce el modelo de optimización que ha desarrollado la FGE en 2020 en donde, considerando una tasa de fiscales $T^* = 8$ por cada 100,000 habitantes, se determinó el número total de fiscales que se requieren a nivel nacional. Por otro lado, para la asignación a nivel provincial, su modelo garantiza que aquellos cantones que tienen más de 12,500 habitantes, tengan al menos un fiscal asignado. Adicionalmente, el modelo incluye el número mínimo de fiscales requeridos por población cantonal e información a nivel provincial de la población proyectada 2020, el número actual de fiscales, el número de fiscales en déficit, la carga laboral global y el número de noticias del delito activas. Respetando las condiciones de confidencialidad no incluimos explícitamente el modelo en esta propuesta; sin embargo, certificamos que ha sido el insumo principal para poder entender y definir el problema de estudio en los términos que han sido expuestos.

A fin de integrar las variables del modelo actual de la FGE con otras relacionadas a la eficiencia integral del sistema de asignación, en esta investigación se tomará como modelo base a un modelo de Programación lineal entera mixta dado en (Wongsinlatam et al., 2016) en el que los autores consideran al sistema de justicia en forma global, llegando al nivel de asignación de casos a fiscales, haciendo énfasis en que la eficiencia de un sistema judicial depende de la atención oportuna de cada caso y rescatando el criterio de que la selección apropiada de los casos que se asignan a la fiscalía correcta, tendrá un efecto positivo directo en todo el sistema judicial. En este modelo se conoce el total de casos judiciales que deben ser asignados, notado por n , y se define un índice $i \in \{1, 2, \dots, n\}$ para referirse al caso i . Asimismo, se tienen m fiscalías a las que se les asocia el índice j con $j \in \{1, 2, \dots, m\}$. Para cada caso judicial i se conoce la tasa de efectividad de asignación del caso u_i y también el límite inferior y superior permitidos para el tiempo de atención del caso, estos límites se notan por L_i y U_i , respectivamente. Finalmente, el plazo máximo permitido para la atención global de los casos se nota por MT y el tiempo en el que se asigna un caso i a una fiscalía j por T_{ij} . El modelo de asignación de MILP es el siguiente:

$$\max Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m u_i T_{ij} \quad (1)$$

Sujeto a:

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} \leq MT; \quad \forall j \leq m \quad (2)$$

$$T_{ij} - X_{ij}U_i \leq 0 \quad \forall i \leq n, j \leq m \quad (3)$$

$$T_{ij} - X_{ij}L_i \geq 0 \quad \forall i \leq n, j \leq m \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^m X_{ij} \leq 1; \quad \forall i \leq n \quad (5)$$

con:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{si el caso } i \text{ se asigna a la fiscalía } j \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \forall i \leq n, j \leq m \quad (6)$$

Con esta formulación se consigue maximizar la efectividad general del procedimiento judicial mientras que las restricciones del modelo garantizan que la solución cumpla con todas las condiciones de la asignación. En concreto, la restricción (2) asegura que el tiempo total empleado en atender los n casos no excede el tiempo máximo permitido MT para cada fiscalía, las restricciones (3) y (4) exigen que el tiempo empleado en cada caso se encuentre dentro de los límites permitidos U_i y L_i ; por último, con las restricciones (5) y (6) se obliga a que X_{ij} sea una variable de decisión binaria que toma un valor de 1 si el caso i se selecciona y se asigna a la fiscalía j y un valor de 0 en caso contrario.



Es importante establecer que esta sección del trabajo consiste en definir un modelo de optimización específico para el caso ecuatoriano que abarque todas las condiciones particulares del sistema de justicia nacional. En consecuencia, el modelo base estará sujeto tanto a la inclusión de nuevas variables, restricciones y redefinición de la función objetivo, como a la exclusión de uno o varios de sus elementos. El proceso de formulación del modelo de optimización incluirá una etapa de verificación de su validez mediante un sistema de retroalimentación constante con la FGE que garantice que el modelo refleje todas las condiciones del proceso de asignación.

- **Diseño de un algoritmo de solución.** Las estrategias de solución dependerán directamente de la estructura del modelo de optimización que se defina para este problema. Es bien conocido que, en general, se puede tener una solución exacta en cuyo caso el modelo puede resolverse directamente con solver especializado o se deberán generar heurísticas de solución.
- **Implementación computacional del algoritmo en un lenguaje de programación adecuado:** En esta etapa se implementará tanto el modelo completo como las posibles heurísticas de solución en lenguaje C++ o Python, conectado con el solver especializado de optimización Gurobi (Gurobi LLC, 2020).
- **Pruebas computacionales:** En esta etapa se calcula la solución del problema tanto para datos reales como para datos simulados, se analiza la consistencia de las soluciones, se realiza calibración de parámetros y se generan reportes con los resultados finales.

Los resultados de este proyecto se pondrán en consideración de la FGE y se redactará un artículo técnico para ponerlo a consideración en un congreso internacional evaluado por pares o en una revista indexada.

Bibliografía (Normas APA)

- [1] Organización de las Naciones Unidas. (15 de enero de 2021). *La Declaración Universal de Derechos Humanos*. <https://www.un.org/es/universal-declaration-human-rights/>
- [2]. Ahuja, R.K., Magnanti, T.L., & Orlin, J.B. (1993). *Network Flows. Theory Algorithms and applications*. New Jersey. Prentice Hall.
- [3] Leung, J.Y. (Ed.) (2004). *Handbook of Scheduling. Algorithms, Models, and Performance Analysis*. CRC press.
- [4] Wongsinlatam, W., Pimpila, K., Wongphat, A., & Buchitchon, S. (2016). Mixed Integer Linear Programming for Maximizing Effectiveness of Case Assignment in Court of Justice Using Metaheuristic Optimization. *International Journal of Mathematical and Computational Methods*, 1.
- [5] Gurobi Optimization, LLC. (2020). *Gurobi Optimizer Reference Manual*. <http://www.gurobi.com>

13. 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 all in one 29703838	Oficina ADM-8N-03.
Oficina ADM-8N-08.	Computador all in one 29703837	Oficina ADM-8N-08.
	Laptop Lenovo ThinkPad	Oficina ADM-8N-03.
	Laptop Lenovo ThinkPad	Oficina ADM-8N-08.
	Laptop Dell Inspiron 5570	Oficina ADM-8N-03.



B. DATOS INFORMATIVOS

1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, COLABORADOR (EPN o EXTERNO) Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento	Rol	Título de mayor nivel y mención.
Salazar Montenegro María Fernanda	0603186396	8	Matemática	Director	PhD
Gutiérrez Pombosa Sandra Elizabeth	1714305438	6	Matemática	Colaborador	PhD

* HSS =Horas Semana Semestre: Es el número de horas que se dedica por semana a la investigación. Este número de horas se mantiene para todo el semestre.



C. DECLARACIÓN FINAL
DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del Director del Proyecto
Nombre: María Fernanda Salazar Montenegro
C.I.: 0603186396

