

Optimizando la planeación en el sector público

Andrés L. Medaglia* y Jorge A. Sefair**

Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada (COPA), Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de los Andes

Los autores, ganadores del concurso DNP-50 años, comparten con los lectores de EGOB-revista de asuntos públicos algunas reflexiones en torno al modelo de optimización que les mereció el premio. La metodología presentada es una herramienta para priorizar la inversión pública que incorpora aspectos técnicos, económicos, financieros y sociales. Su utilidad en los proyectos de planeación urbana es innegable.

La toma de decisiones es un proceso inherente a la operación de cualquier organización. Sin embargo, dependiendo de su tipo, hay diferencias radicales en el significado de este proceso. Por un lado, las organizaciones privadas se concentran principalmente en tomar las mejores decisiones para crear el máximo valor posible a sus accionistas. Por otra parte, las organizaciones públicas enfrentan un reto aún mayor: deben generar el máximo valor para toda la sociedad asignando eficientemente los siempre escasos recursos públicos.

Las organizaciones públicas, al igual que las privadas, se enfrentan a varios niveles de decisiones dependiendo de su alcance. Las decisiones de tipo estratégico tienen un alto impacto en la organización en el largo plazo ya que persiguen el cumplimiento de objetivos no inmediatos como generación de bienestar, cobertura de servicios públicos, acceso a tecnología, entre otros (selección y programación de proyectos de infraestructura, elección de tecnología...). Las decisiones de tipo táctico (planeación de actividades, asignación de tareas...) pretenden alcanzar objetivos en el corto y mediano plazo. En este sentido, el impacto de estas decisiones debe encontrarse alineado con el de las decisiones estratégicas. Por último, las decisiones operativas conciernen a las actividades de la organización en el corto plazo (programación de mantenimientos, por ejemplo). Por lo

general, a medida que disminuye el horizonte de impacto de la decisión, el volumen de decisiones, al igual que el nivel de detalle de la información requerida, aumenta (Figura 1).

Las organizaciones privadas se concentran principalmente en tomar las mejores decisiones para crear el máximo valor posible a sus accionistas. Por otra parte, las organizaciones públicas enfrentan un reto aún mayor: deben generar el máximo valor para toda la sociedad asignando eficientemente los siempre escasos recursos públicos.

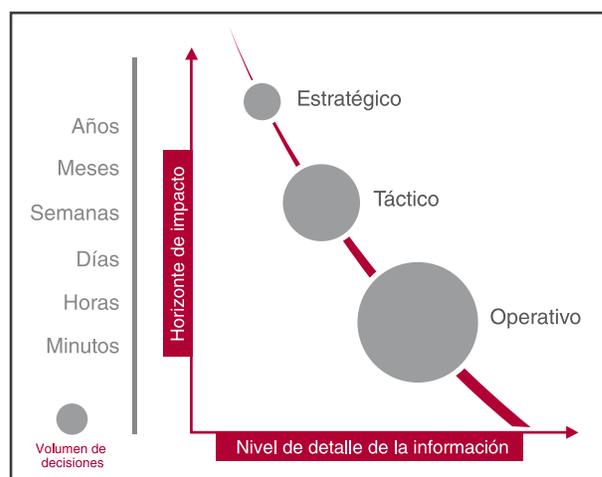


Figura 1. Horizonte de impacto y detalle de la información en los niveles de decisión.

* amedagli@uniandes.edu.co

** j-sefair@uniandes.edu.co

El proceso de toma de decisiones es un proceso complejo ya que implica en muchos casos la evaluación de múltiples alternativas y la consideración de diversos criterios. Muchas alternativas pueden ser viables, pero sólo muy pocas (o a veces sólo una) pueden ser consideradas como las mejores para llevar a la práctica. Adicionalmente, algunas decisiones (como las operativas) deben tomarse en un lapso limitado de tiempo con la información disponible, haciendo vital la evaluación sistemática y rápida de las alternativas. Por estas razones, entre otras, se hace necesaria la utilización de una metodología rigurosa para apoyar el proceso de toma de decisiones, en donde las herramientas cuantitativas y computacionales son fundamentales. Tomar una decisión compleja puede llegar a ser imposible sin alguna abstracción matemática y la asistencia de un computador que ayude a evaluar literalmente millones de alternativas. Estas soluciones que combinan datos, modelos cuantitativos y herramientas computacionales, pueden ser vistas como sistemas de apoyo a la decisión.

Metodología de análisis

Una de las herramientas matemáticas disponibles para soportar los sistemas de apoyo a la decisión es la optimización. Sin embargo, para su aplicación adecuada es necesaria una etapa previa para entender y estructurar el problema subyacente a la decisión (ver Figura 2). Este proceso se realiza de la mano del tomador de decisiones con el fin de identificar los actores involucrados y los alcances de la decisión. En otras palabras, se especifican los aspectos que estarán fuera del alcance de la decisión y aquellos que se modificarán producto de la misma. En esta etapa también se debe evaluar la disponibilidad de información, ya que no será posible determinar si una decisión es más conveniente que otra si no existe información suficiente para compararlas.

Una vez se ha estructurado el problema se formula un modelo matemático. Dicho modelo busca representar

matemáticamente el problema al que se enfrenta el tomador de decisión de una forma simplificada pero acorde con el alcance establecido. En este sentido, debe asegurarse que el modelo represente correctamente tres aspectos fundamentales: 1) las decisiones, 2) las reglas de la organización que limitan las decisiones y 3) el impacto de una decisión sobre uno o más criterios.

Una vez se ha realizado la abstracción matemática de la realidad (modelo), se debe recolectar la información necesaria, luego se debe realizar una traducción del modelo a un lenguaje que el computador pueda entender y, finalmente, a través del computador, se puede evaluar una gran cantidad de alternativas y escoger entre ellas la mejor. A partir de la solución encontrada se valida el modelo en conjunto con el tomador de decisión de tal forma que se ajuste a la situación real. Si no es así, el modelo debe ajustarse replanteando la formulación matemática (ver Figura 2) hasta realizar una validación satisfactoria. Cuando esto ocurre, es posible determinar que se ha encontrado la mejor (o mejores) decisión de acuerdo a los criterios y alcance establecidos.

A continuación se presentan tres ejemplos de la aplicación de optimización como herramienta de apoyo a la planeación en entidades públicas.

¿Dónde localizar la infraestructura pública?

Unas de las decisiones estratégicas más críticas que enfrentan los gobiernos nacionales y locales es la ubicación de infraestructura pública. Algo que complica las decisiones de localización es la amplia gama de criterios que podrían evaluarse para decidir si un lugar es buen candidato. Por otro lado, si son varios los candidatos que se pueden seleccionar, muchas veces no es claro cuál es la combinación de sitios (entre millones de ellas) que proveerá a la población un mejor



Figura 2. Toma de decisiones a través de optimización

servicio. Algunos ejemplos de problemas de localización de sitios públicos son la ubicación de colegios, bibliotecas, centros de atención, estaciones de policía, bodegas, rellenos sanitarios y parques. En esta sección ilustraremos un ejemplo de localización de parques urbanos basados en la experiencia de los autores.

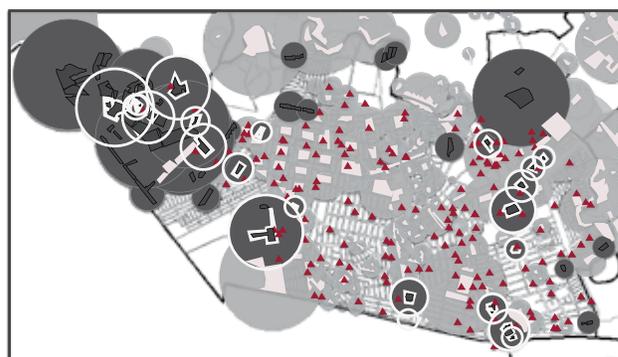
Localización de parques en Bogotá

Los parques urbanos proveen beneficios sociales, económicos, ambientales y de salud. Sin embargo, para que la población pueda recibir dichos beneficios, es necesario ampliar las áreas verdes en las ciudades. Bogotá, en particular, ha determinado como estándar que el área de parque vecinal debe alcanzar los 2.41 m² por habitante para el 2019 (Decreto Distrital 308 de 2006 - Plan Maestro de Equipamientos Deportivos y Recreativos). Sin embargo, la ubicación de nuevas áreas verdes en una ciudad altamente urbanizada es costosa y compleja, especialmente cuando se involucran múltiples criterios.

En Bogotá, se identificaron en conjunto con expertos de la Secretaría Distrital de Planeación (SDP), el Taller de Espacio Público (TEP) y el Instituto Distrital para la Recreación y el Deporte (IDRD), una serie de indicadores para evaluar la conveniencia de un lote candidato a convertirse en parque. Los indicadores fueron clasificados en cinco grupos: costos, cobertura geográfica, cobertura poblacional, accesibilidad y proximidad con equipamientos de la ciudad. Algunos de estos criterios están en conflicto, por ejemplo, si se desea una mayor cobertura de la población, el costo de inversión en nuevos parques deberá ser mayor. En este sentido, es imposible encontrar una alternativa que sea la mejor considerando todos los criterios al mismo tiempo.

Luego de definir los indicadores, el equipo que gerencia el Plan Maestro de Parques en el IDRD definió como caso de estudio la Unidad de Planeamiento Zonal (UPZ) de Bosa Central, ya que es una de las más deficitarias en área de parques de escala vecinal en Bogotá con tan solo 1.38 m²/habitante. En la UPZ de Bosa Central se consideraron un total de 58 áreas candidatas teniendo en cuenta los lotes privados no edificados o no urbanizados.

La herramienta de optimización propuesta por los autores (Molano et al., 2009) sirvió para identificar las áreas candidatas que generan mayor impacto a la comunidad con respecto a los indicadores propuestos. En la Figura 3 se presentan algunas sugerencias del modelo de optimización al planeador público. En la parte inferior se muestran los parques candidatos que se deben seleccionar si se desea



cubrir la mayor cantidad de población. Por otro lado, en la parte superior, se muestra el resultado si se deseara maximizar la cercanía de los parques a los equipamientos con externalidades positivas como lo son los colegios, paraderos de transporte público o centros culturales comunales.

En síntesis, la herramienta de optimización es capaz de evaluar millones de alternativas y múltiples escenarios que un decisor difícilmente puede explorar de forma manual. En este sentido, el modelo se convierte en una herramienta flexible que provee información relevante al planeador público para alcanzar lo que, de otra forma, dada la complejidad del problema, hubiera sido imposible conseguir.¹

¿Qué proyectos de inversión realizar?

La inversión pública debe propender por el fomento del bienestar. En este sentido, se deben financiar proyectos de tal

¹ Para mayor información sobre este modelo de localización de parques en Bogotá se refiere al lector a Molano et al. (2009).

Proyecto	Beneficio (en millones de pesos)	Costo (en millones de pesos)	Índice (Beneficio / Costo)
1	100	20	5.0
2	90	25	3.6
3	50	15	3.3
4	50	15	3.3
5	80	10	8.0

Tabla 1. Proyectos de inversión

forma que maximicen los beneficios económicos y sociales generados. Sin embargo, aunque parece sencillo, la elección del mejor portafolio de proyectos no es trivial. Por ejemplo, considere los proyectos candidatos que se muestran en la Tabla 1. Cada proyecto puede o no ser seleccionado para ser parte del portafolio. Además, se tiene información sobre el beneficio de cada proyecto y la inversión requerida (en millones de pesos). Por lo tanto, si se tiene un presupuesto de 60 millones de pesos ¿qué proyectos se deberían realizar? La respuesta no es obvia, aún para este pequeño conjunto de proyectos. A simple vista parecería que los proyectos 1, 2 y 5 deberían constituir el portafolio de inversiones ya que tienen los mayores beneficios brutos y relaciones beneficio/costo. La inversión en estos proyectos asciende a 55 millones y genera un beneficio total de 270 millones. Sin embargo, paradójicamente, el portafolio conformado por los proyectos 1, 3, 4 y 5 es mejor, ya que con una inversión de 60 millones se obtiene un beneficio total de 280 millones. Se debe notar que a primera vista no parecía lógico excluir del portafolio al proyecto 2 que tiene el segundo mayor beneficio bruto y la tercera relación beneficio costo (3.6), sin embargo, la combinación de proyectos 1, 3, 4 y 5 es una solución que obtiene un mejor beneficio global.

El problema se complica cuando hay muchos proyectos candidatos y muchos criterios para evaluar un portafolio (por ejemplo, valor presente neto, riesgo, impacto económico). Sin embargo, en esta sección ilustraremos el caso de priorización de inversiones al que se enfrentaba una empresa de servicios públicos de Bogotá.

Priorización de inversiones en infraestructura

Al igual que muchas empresas públicas, el Acueducto de Bogotá se enfrentaba al problema de seleccionar y programar en el tiempo sus proyectos de inversión en infraestructura. El presupuesto era insuficiente para realizar todos los proyectos al tiempo y la programación de los proyectos

debía cumplir restricciones técnicas sobre la fecha de inicio, en muchos casos establecidas por el Plan de Ordenamiento Territorial —POT. Se buscaba generar un portafolio de proyectos que generara la mayor cantidad de beneficios económicos a la población (por ejemplo, salud) y que al mismo tiempo fuera interesante desde el punto de vista financiero.

Junto con los expertos de la Gerencia de Planeamiento y Control del Acueducto de Bogotá, se recolectó y depuró la información de más de 150 proyectos de inversión candidatos, provenientes de todas las gerencias. Asimismo, se diseñó un software a través del cual el encargado de planeación podría ingresar la información de los proyectos y realizar su evaluación económica y financiera.

La herramienta de optimización propuesta por los autores (Medaglia et al., 2008) sirvió para seleccionar y programar los mejores proyectos de inversión de tal forma que se maximizaran los beneficios económicos y financieros generados para un horizonte de planeación de 12 años. Además, a través del software desarrollado, el analista tenía la libertad de probar diferentes escenarios, asumiendo por ejemplo reducciones de presupuesto, variaciones en la tarifa, entre otros.

Como ilustración del uso de la herramienta, la Figura 4 muestra la programación óptima de diez proyectos para un horizonte de diez años. Luego de optimizar la inversión, el modelo sugirió que el primer proyecto, con una duración de cuatro años, debe iniciarse en el año 1. Ahora, al simular una reducción en el presupuesto en el año cinco se encuentra una nueva programación óptima de manera instantánea, en donde los proyectos 3 y 7 se adelantan, y el proyecto 5 se aplaza. Evaluar escenarios de choque presupuestal en el portafolio real (más de 150 proyectos) es una tarea prácticamente imposible de hacer de forma manual.

Ante la ausencia de un sistema de apoyo a la decisión basado en optimización, lo usual es que un analista se apoye en una hoja de cálculo, pruebe por ensayo y error algunas alternativas, y trate de tener en cuenta múltiples reglas del negocio como lo son: el límite presupuestal por período, fechas tempranas y tardías de inicio de los proyectos, y precedencias entre proyectos (por ejemplo, la acometida de una red matriz del acueducto debe preceder un proyecto de instalación de medidores en un barrio beneficiado por la red matriz). Lo normal es que, dada la complejidad del problema, un analista tarde bastante tiempo en conseguir una alternativa que cumpla con todas las reglas y trunque el proceso de búsqueda de la mejor alternativa. Cuando se usa un modelo de optimización como el descrito en Medaglia et al. (2008), la búsqueda y evaluación de alternativas se hace de forma exhaustiva y eficientemente, logrando así una solución que logra un mayor beneficio para la sociedad.

Otros modelos de selección de proyectos han sido desarrollados considerando diferentes objetivos como riesgo (Sefair, Méndez y Medaglia, 2009; Sefair y Medaglia, 2005) y otro tipo de restricciones como limitaciones de personal (Sefair y Medaglia, 2009) e interdependencias entre proyectos (Zuluaga, Sefair y Medaglia, 2007).

Finalmente, otros modelos de optimización relacionados con la planeación urbana han considerado el diseño de rutas de transporte público (Walteros, Riaño y Medaglia, 2007), la localización de centros de recolección de residuos

hospitalarios (Medaglia, Villegas y Rodríguez-Coca, 2009) y la planeación operativa de rutas urbanas para la atención de clientes (Mendoza, Medaglia y Velasco, 2009).

Lecciones aprendidas

Seis lecciones pueden ser derivadas del trabajo realizado en conjunto con los planeadores públicos:

1 La interacción entre universidad y empresa pública funciona. Dada la complejidad de sus decisiones, las empresas públicas siempre serán una fuente de retos académicos. De esta forma se pueden aplicar los avances de la academia en la solución de problemas reales. Igualmente importante es el establecimiento de una conexión entre el estado del arte y el estado de la práctica en la planeación pública.

2 La recolección y la calidad de la información es fundamental. Una consecuente cultura de planeación y recolección de información facilita la toma de decisiones. Además, mientras más información haya, mayor es el detalle que puede incorporarse dentro de los modelos para reflejar la situación real. En otros casos, el desarrollo del modelo de toma de decisiones permite identificar aquella información relevante que debería recolectarse, mejorando así el proceso de planeación hacia el futuro.

3 La interacción de grupos interdisciplinarios enriquece el proceso de toma de decisiones. Múltiples factores deben ser considerados dentro del proceso de decisión. Dado que cada profesional proporciona una perspectiva diferente, la conformación de equipos interdisciplinarios permite considerar diferentes facetas de la decisión. Así, las decisiones sugeridas por los modelos incorporan la visión y las necesidades de cada grupo.

4 Los modelos de optimización pueden ser desarrollados a la medida de las empresas. Dado que cada empresa enfrenta realidades diferentes y se desempeña en ambientes distintos, los modelos son desarrollados de acuerdo a las decisiones que cada empresa debe tomar. En este sentido, la flexibilidad de los modelos de optimización es una ventaja que debe aprovecharse al máximo. Los modelos de optimización más exitosos son aquellos que se construyen conjuntamente entre los planeadores públicos y el grupo asesor experto en optimización. Los procesos de planeación no deben ajustarse a los modelos, por el contrario, son los modelos los que deben ajustarse al proceso de planeación.

5 Los modelos de optimización son herramientas de bajo costo y alto impacto. Un modelo de optimización puede utilizarse cuantas veces sea necesario. En

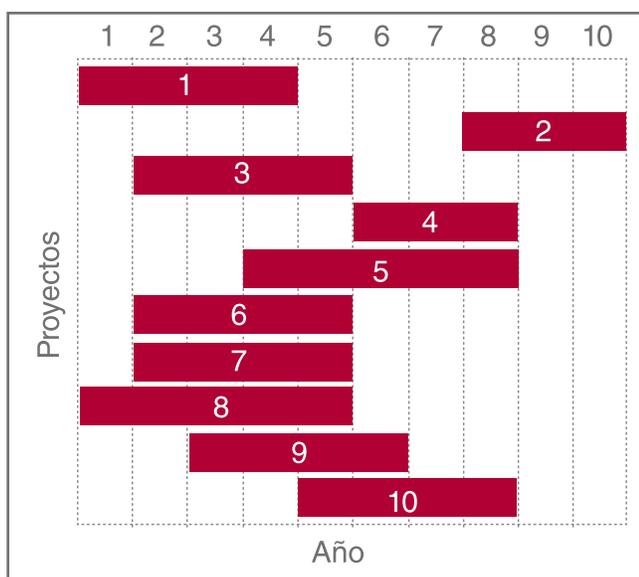
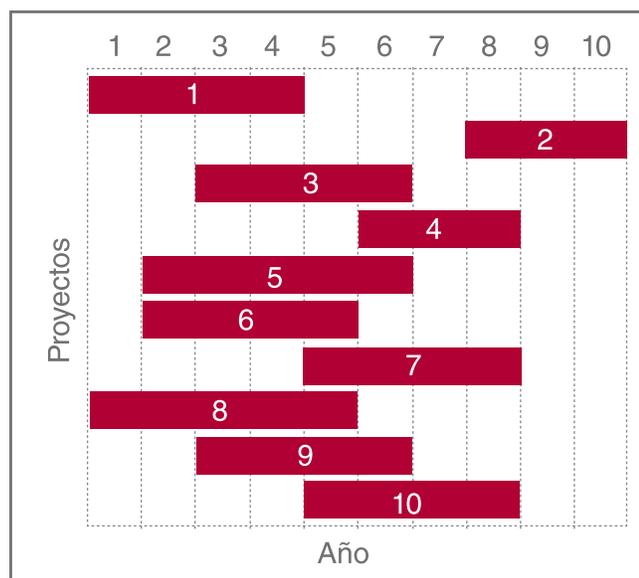


Figura 4. Cambio en la programación de proyectos dado una reducción de presupuesto

muchos casos los modelos se implementan dentro de sistema de apoyo a la decisión amigable que permite fácilmente su utilización (Cohen, Kelly y Medaglia, 2001).

Los modelos de optimización deben ser transparentes al planeador. Es deseable que los planeadores urbanos se involucren con el uso de las herramientas y entiendan los principios sobre los que operan. Es recomendable capacitar en el uso y entendimiento de los modelos a los analistas. Un modelo no puede ser una caja negra que solo un grupo reducido de expertos entiende. Por el contrario, debe estar abierto a la crítica y contribución de los planeadores.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Camilo Olaya (Universidad de los Andes) por su retroalimentación oportuna a una versión preliminar de este documento. Sin embargo, cualquier imprecisión es completamente atribuible a los autores. 

REFERENCIAS

- Cohen, M-d., Kelly, C. B., and Medaglia, A. L. (2001). Decision support with Web-enabled software. *Interfaces*. 31(2):109-129.
- Medaglia A. L., Hueth D., Mendieta J. C., Sefair J. A. (2008). Multiobjective model for the selection and timing of public enterprise projects. *Socio-Economic Planning Sciences*. 42(1):31-45.
- Medaglia, A. L., Villegas, J. G., Rodríguez-Coca, D. M. (2009). Hybrid biobjective evolutionary algorithms for the design of a hospital waste management network. *Journal of Heuristics*. 15(2):153-176.
- Mendoza, J. E., Medaglia, A. L., Velasco, N. (2009). An evolutionary-based decision support system for vehicle routing: the case of a public utility. *Decision Support Systems*. 46(3):730-742.
- Molano, A. M., Medaglia, A. L., Sarmiento, O. L., Sefair, J.A. (2008). Modelo de planeación de áreas urbanas para construir nuevos parques vecinales en Bogotá. *Planeación y Desarrollo*. XXXIX(2): 140-173. ISSN: 0034-8686.
- Sefair, J. A., Méndez, C. Y., Medaglia, A. L. (2009). Mean-Semivariance model for project selection: An illustration from the oil and gas industry. Working Paper COPA 2008-2-2. Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada, Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/1072>
- Sefair, J. A., Medaglia, A. L. (2009). Project selection and timing under finite capacity resource constraints. Working Paper COPA 2008-1. Centro para la Optimización y Probabilidad Aplicada, Universidad de los Andes. Disponible en: <http://hdl.handle.net/1992/1071>
- Sefair, J. A., Medaglia, A.L. (2005). Towards a model for selection and scheduling of risky projects. Ellen J. Bass, (editor). In *Proceedings of the 2005 Systems and Information Engineering Design Symposium*, University of Virginia.
- Walteros, J. L., Riaño, G., Medaglia, A. L. (2007). A hybrid genetic algorithm for route design in a bus rapid transit system. In *Proceedings of the 7th Metaheuristics International Conference (MIC)*, Montreal, Canada.
- Zuluaga, A., Sefair, J. A., Medaglia, A. L. (2007). Model for the selection and scheduling of interdependent projects. Michael DeVore, (editor). In *Proceedings of the 2007 Systems and Information Engineering Design Symposium*, University of Virginia.



Universidad de
los Andes

Escuela de Gobierno
Alberto Lleras Camargo

PROGRAMA DE ALTO GOBIERNO

El Programa de Alto Gobierno es un programa interdisciplinario, de educación ejecutiva no formal, que tiene como objetivo mejorar el liderazgo y la calidad en la conducción, al más alto nivel, de las instituciones del Estado.

El Programa convoca a:

- Ministros
- Viceministros
- Congresistas
- Magistrados de las Altas Cortes
- Consejeros del Consejo Nacional Electoral
- Directivos de Organismos de Control
- Superintendentes
- Gobernadores
- Alcaldes
- Concejales
- Directivos de empresas del Estado
- Directivos de Entidades descentralizadas
- Directivos de medios de comunicación
- Directivos de organizaciones internacionales
- Dirigentes de Partidos Políticos
- Dirigentes gremiales
- Empresarios del sector privado
- Dirigentes de organizaciones de la sociedad civil
- Miembros de las Fuerzas Armadas
- Líderes sindicales
- Directivos de Organizaciones no Gubernamentales
- Otros altos funcionarios de gobierno

Mayores informes: [571] 339 4949, ext.: 2073
<http://gobierno.uniandes.edu.co>
escueladegobierno@uniandes.edu.co