

AVALIAÇÃO DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA A  
REDUÇÃO DA CRIMINALIDADE EM MEDELLÍN:  
UMA APROXIMAÇÃO COM DINÂMICA  
DE SISTEMAS

SANTIAGO ARANGO  
JOHN JAIRO PRADO  
ISAAC DYNER\*

\* Os autores agradecem à Direção de Pesquisa da Universidade Nacional da Colômbia, Sede Medellín, o apoio financeiro do projeto. Também a Sebastián Jaén e a revisores anônimos pelos seus valiosos aportes ao artigo.

Os autores são, em sua ordem:  
Ph.D., Professor Escola de Sistemas.

M.Sc., Grupo de Sistemas e Informática.

Ph.D., Diretor Grupo de Sistemas e Informática.  
Centro de Complexidade CEIBA.

Grupo de Sistemas e Informática.

Universidade Nacional da Colômbia, Medellín

Correios eletrônicos:  
saarango@unalmed.edu.co  
prado80@yahoo.com  
idyner@unalmed.edu.co

Documento recebido no dia 26 de Janeiro de 2009;  
versão final aceita no dia 4 de Setembro de 2009.

Medellín tem sido uma das cidades mais violentas do mundo, onde a criminalidade tem vindo reduzindo-se nos últimos anos. A continuidade da senda descendente depende da efetividade das políticas públicas. Esta pesquisa avalia políticas públicas, tanto preventivas como punitivas, usando um modelo em Dinâmica de Sistemas que considera a carreira criminal e a teoria econômica do crime. Exercícios de simulação sugerem buscar reduzir o crescimento da população susceptível, aumentar a força pública e incrementar a duração média da sentença. Esta aproximação metodológica pode ser extrapolada a casos similares de sistemas sociais.

**Classificação JEL:** C63, C1, I3.

**Palavras chave:** criminalidade, carreira criminal, simulação, dinâmica de sistemas, pensamento sistêmico.

# PUBLIC POLICY ASSESSMENT FOR CRIME REDUCTION IN MEDELLÍN: A SYSTEM DYNAMICS APPROACH

SANTIAGO ARANGO  
JOHN JAIRO PRADO  
ISAAC DYNER\*

Medellín has been one of the most violent cities around the globe, where crime rates have been decreasing during the recent years. The continuation of such decreasing path depends on the effectiveness of public policy. This research tests public policy, both preventive and punitive, by using a System Dynamics model that includes the criminal career and Becker's economic theory of crime. Simulations suggest policies to reduce the susceptibility of population as well as to increase both policing and sentences. This methodological approach can be extrapolated to similar social systems.

**JEL classification:** C1, C63, I13.

**Keywords:** crime, criminal career, simulation, system dynamics, system thinking.

---

\*The authors acknowledge the financial support given by the Research Office of the Universidad Nacional de Colombia, Medellín campus. Also we would like to acknowledge the valuable comments to the article made by the anonymous readers.

The authors are respectively:

Ph.D., Professor of the Systems School.  
M.Sc., Systems and Computer Science Group.  
Ph.D., Director of the Systems and Computer Science Group  
Complexity Center CEIBA.

E-mails:  
saarango@unalmed.edu.co  
prado80@yahoo.com  
idyner@unalmed.edu.co

Document received:  
26 January 2009;  
final version accepted:  
4 September 2009.

# EVALUACIÓN DE POLÍTICAS PÚBLICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA CRIMINALIDAD EN MEDELLÍN: UNA APROXIMACIÓN CON DINÁMICA DE SISTEMAS

SANTIAGO ARANGO  
JOHN JAIRO PRADO  
ISAAC DYNER\*

---

\* Los autores agradecen a la Dirección de Investigación de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín, por el apoyo financiero del proyecto. También a Sebastián Jaén y a los revisores anónimos por sus valiosos aportes al artículo.

Los autores son en su orden:  
Ph. D., profesor Escuela de  
Sistemas.

M. Sc., grupo de Sistemas e  
Informática.

Ph. D., director Grupo de  
Sistemas e Informática.  
Centro de Complejidad  
CEIBA.

Universidad Nacional de  
Colombia, Medellín.

Correos electrónicos:  
saarango@unal.edu.co  
pradopiedrahita@gmail.com  
idyner@unal.edu.co

Documento recibido:  
26 de enero de 2009;  
versión final aceptada:  
4 de septiembre de 2009.

Medellín ha sido una de las ciudades más violentas del mundo, pero la criminalidad ha venido reduciéndose en los últimos años. La continuidad del sendero descendiente depende de la efectividad de las políticas públicas. Esta investigación evalúa políticas públicas, tanto preventivas como punitivas, usando un modelo en dinámica de sistemas que considera la carrera criminal y la teoría económica del crimen. Los ejercicios de simulación sugieren la necesidad de reducir el crecimiento de la población susceptible de convertirse en criminales, aumentar los efectivos de la fuerza pública e incrementar la duración promedio de las sentencias. Esta aproximación metodológica puede ser extrapolada a casos similares de los sistemas sociales.

**Clasificación JEL:** C1, C63, I3.

**Palabras clave:** criminalidad, carrera criminal, simulación, dinámica de sistemas, pensamiento sistémico.

## I. DELINCUENCIA Y CRIMINALIDAD EN MEDELLÍN

La región del Caribe ha mostrado una de las más altas tasas de criminalidad en el mundo. Particularmente, Colombia alcanzó a principios de los noventa una tasa de 78,2 homicidios por cada 100.000 habitantes, superando ampliamente a países como Jamaica con 27,7, Rusia con 19,2, Brasil con 24,6, Bahamas con 22,7, México con 20,6, Nicaragua con 16,7, Venezuela con 16,4, Argentina con 12,4, Sri Lanka con 12,2, Perú con 11,5, Ecuador con 11 y Estados Unidos con 8, por mencionar algunos de los más violentos en términos relativos. Debido a los altos niveles de criminalidad en la región, se ha llegado a considerar que ésta tiene características “epidémicas” (Sánchez y Núñez, 2001).

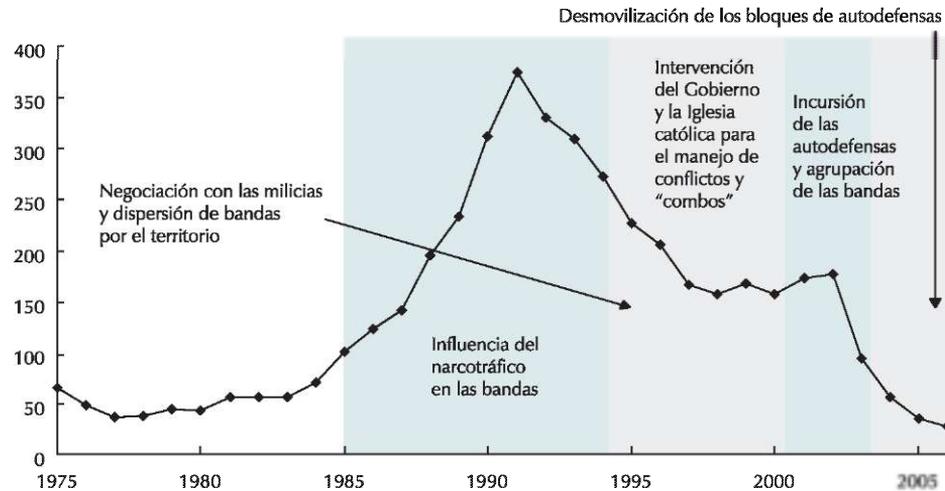
La ciudad de Medellín llegó a tener los índices más altos de violencia de Latinoamérica y se convirtió en uno de los símbolos de violencia del subcontinente. El pico de violencia se dio en 1991 con 350 homicidios por cada 100.000 habitantes, superior a ciudades violentas como Washington y ciudad de México, con 62 y 18 homicidios, respectivamente. En el Gráfico 1 se muestra la tasa histórica de homicidios en Medellín desde 1975 hasta 2006, donde se resaltan algunos de los factores importantes que contribuyeron a su incremento o decrecimiento.

Uno de los factores de mayor impacto en la criminalidad de la ciudad ha sido el narcotráfico, que en la segunda mitad de la década de los ochenta arremetió contra la ciudad con sus sanguinarias bandas de delincuentes y comenzó un período de gran sufrimiento y pánico: el narcoterrorismo (Antía, 2002). Cuando llegó el declive del cartel de Medellín en el año 1992, luego de la muerte de Pablo Escobar Gaviria y el encarcelamiento de sus principales lugartenientes, muchos jóvenes que habían

derivado su sustento de esta actividad quedaron desempleados y conformaron en ese entonces bandas juveniles que se dedicaron a otro tipo de delincuencia.

Gráfico 1

Tasa de homicidios en Medellín por cada 100.000 habitantes



Fuente: Empresa Metropolitana para la Seguridad (Metroseguridad, 2006).

El homicidio en Medellín se ha reconocido como el principal problema de salud pública y de seguridad ciudadana (Cardona et ál., 2005) y la primera causa de mortalidad entre 1986 y 2005. Dada la magnitud del problema vivido en la ciudad de Medellín es necesario estudiar directamente en la esencia de las causas de los crímenes y tener un correcto direccionamiento de las políticas públicas para continuar disminuyendo los índices de criminalidad y para evitar que se revierta esa tendencia descendente.

Esta investigación evalúa elementos de la política para la reducción de la criminalidad en Medellín, usando un modelo de simulación que se fundamenta en la teoría económica del crimen y que incorpora de manera no estándar el concepto de carrera criminal. Tanto la teoría como los conceptos fundamentales para la elaboración del modelo son presentados en la siguiente sección. En la sección III se describe el modelo desarrollado y su validación. El modelo de simulación es utilizado para explorar políticas tanto preventivas como punitivas que reduzcan el crecimiento de la población susceptible a la criminalidad, aumentar el número de integrantes de la fuerza pública e incrementar la duración promedio de las sentencias. Finalmente se discute la pertinencia de la metodología para este tipo de problemáticas sociales complejas.

## II. TEORÍA ECONÓMICA DEL CRIMEN Y LA CARRERA CRIMINAL

Las investigaciones que han abordado el problema de la criminalidad se han enfocado tradicionalmente en aspectos como el análisis de las tasas de homicidios, el origen del crimen o su efecto sobre la comunidad. En esta investigación se parte de la teoría económica del crimen (TEC) de G. S. Becker (1968) para explicar la ocurrencia del crimen desde una perspectiva de racionalidad económica, con el objeto de comprender su dinámica sistémica y de esta manera poder evaluar eventuales políticas de control criminal, con el apoyo de simulaciones. En esta sección se describen brevemente los elementos teóricos considerados en la construcción del modelo de simulación que apoya la evaluación de políticas de criminalidad.

### A. LA TEORÍA ECONÓMICA DEL CRIMEN (TEC)

Esta investigación tiene como punto de partida la TEC, según la cual el delincuente infringe la ley como resultado de una acción racional y con la intención de obtener unos bienes esencialmente materiales, es decir, procurando el beneficio económico que le ofrece el crimen (Becker, 1968). Becker desarrolló una visión económica de un problema frecuentemente considerado de índole moral o social, y planteó que el crimen podría convertirse en una actividad atractiva si se dieran las condiciones que hicieran menos probable y punible la captura y la sanción al cometer una infracción, y si los ingresos por el delito favorecieran la condición económica del criminal.

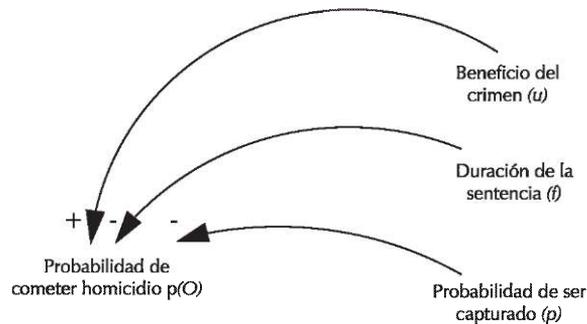
En la TEC se definen tres variables que pueden inducir a pensar en el costo o el beneficio de infringir la ley. La primera es la oportunidad económica que ofrecen las fuentes ilegales de ingresos, la segunda es la probabilidad de captura y condena, y la última es la duración de la sentencia. Cuando comienza a decrecer la segunda o la tercera de estas variables, o cuando las oportunidades aumentan, ignorar la ley se vuelve mucho más atractivo para el posible infractor.

Becker (1968) plantea que la probabilidad de cometer un homicidio  $p(O)$  depende de tres condiciones: beneficio del crimen ( $u$ ), duración de la sentencia ( $f$ ) y probabilidad de captura ( $p$ ); esto formalizado en un modelo econométrico (Posada, 1994; Bourguignon, 2001), de manera funcional como se muestra en la ecuación (1), como una función genérica  $g$ .

$$p(O) = g(p, f, u). \quad (1)$$

Lo anterior se puede expresar de manera causal, como se observa en la Figura 1.

Figura 1  
Expresión causal de la TEC



Fuente: adaptado de Becker (1968).

## B. CARRERA CRIMINAL

En esta investigación se aborda el análisis considerando la carrera criminal, es decir, se examina la iniciación de la actividad, el desarrollo o profesionalización y la terminación de la actividad criminal. De esta manera, la investigación va más allá de la TEC de Becker al introducir otros elementos diferentes a la probabilidad de captura, la duración de la sentencia y el beneficio del crimen. Junto con el análisis de la carrera criminal se tienen en cuenta otras variables respecto a la comisión del crimen, tales como: el aprendizaje criminal y el capital social de las comunidades (que se favorece con políticas de convivencia ciudadana).

Se han identificado cuatro dimensiones claves para caracterizar la carrera criminal (Blumstein y Rosenfeld, 1998): *a)* la participación, lo cual marca la diferencia entre aquellos que están vinculados al crimen y aquellos que no; *b)* la frecuencia, es decir, la tasa de actividad criminal de aquellos que son activos; *c)* la gravedad de las ofensas cometidas; y *d)* la duración de la carrera, o el período en que un delincuente está activo. En la carrera criminal, el encarcelamiento genera una incapacitación o corte en la carrera criminal. Además, si un homicida encarcelado tiene una posición importante dentro de un grupo criminal, el grupo se verá afectado ya que por un tiempo el conocimiento y la experiencia de este individuo no estarán, en principio, a su servicio.

En el planteamiento de la carrera criminal subyace el concepto de “aprendizaje delin-cuencial”, pues aunque Blumstein y Rosenfeld (1998) no lo mencionan directamente,

la noción de carrera criminal implica la existencia de un aprendizaje delincencial. Algunos autores como Restrepo (2001) y Gaviria (2000) hacen una clara referencia a que los delincuentes aprenden a evadir la captura, a mover dentro de redes legales el fruto de sus operaciones ilegales, a adquirir nueva tecnología de comunicaciones y armamento, a entrenarse y a pagar entrenamiento por parte de mercenarios extranjeros, e incluso a eliminar las leyes que podrían perjudicarlos.

Beltrán y Salcedo (2003) exponen el delito como una actividad que requiere experiencia o habilidad y por lo tanto implica preparación. Tomando como punto de partida la propuesta de que las vivencias aumentan la especialización delictiva, se plantea que en la búsqueda de progreso el criminal identifica las siguientes etapas de aprendizaje del oficio (Beltrán y Salcedo, 2003): *a)* inserción, donde el aspirante se relaciona con otros criminales y realiza actividades de apoyo; *b)* formación, que comprende el entrenamiento en manejo de armas y técnicas y la ejecución de delitos violentos de baja cuantía; *c)* inercia criminal, donde se acumulan experiencias, se perfecciona la técnica y se ejecutan pocos delitos de alta cuantía; y *d)* profesionalización, donde se presentan elementos como la creación de empresas del crimen, liderazgo e innovación. Finalmente, la carrera termina con la muerte del criminal, a la cual se expone por ser una actividad de alto riesgo, o con su encarcelamiento, o con su reintegración a las actividades legales (Blumstein y Rosenfeld, 1998).

En la sección III se modelan aspectos de la TEC y de la carrera criminal del homicida con el fin de interpretar y analizar el fenómeno de criminalidad en la ciudad de Medellín. El modelo se ha desarrollado de manera que se logre captar la estructura del sistema subyacente, con base en las teorías previamente descritas. Este modelo, no trivial, es utilizado más adelante para el análisis y evaluación de las políticas públicas y el comportamiento del sistema en el tiempo. En este sentido, el modelo facilitará la evaluación de políticas conducentes a la reducción de la criminalidad en Medellín de manera sostenible.

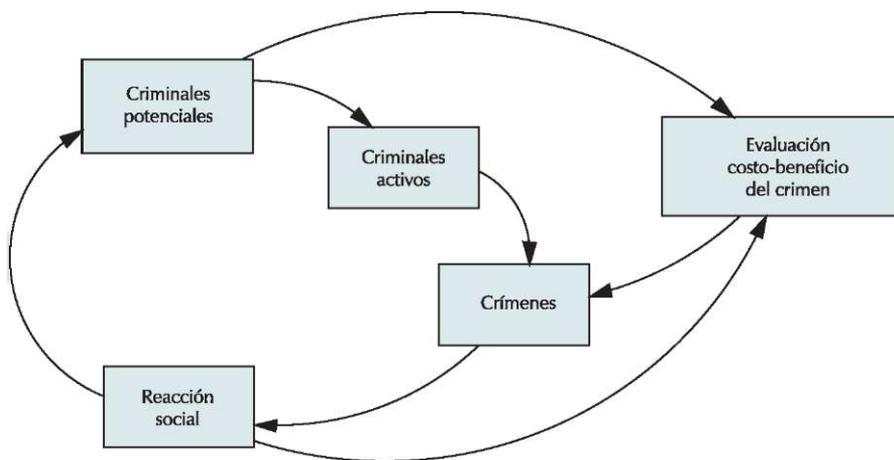
### III. MODELO DE SIMULACIÓN EN DINÁMICA DE SISTEMAS

Por medio de modelos de simulación y desde la perspectiva de la dinámica de sistemas, se pueden explicar de manera endógena los fenómenos sociales (Sterman, 2000). En nuestro caso, el problema de la criminalidad ofrece relaciones endógenas que al parecer son determinantes para explicar los factores que favorecen o desalientan la criminalidad. Para el desarrollo del modelo se tomaron como base los

trabajos de Hernández y Dyer (2001) y Jaén y Dyer (2004), donde se plantea que la criminalidad es susceptible de ser tratado como un sistema. Se parte de relaciones endógenas de la sociedad, el aprendizaje de la delincuencia y el contagio en la violación de la ley, que develan la existencia de realimentaciones que pueden reducir o extender la carrera criminal, es decir, que podrían ser claves en la explicación de un auge o una caída de determinado comportamiento delictivo.

La plataforma de análisis de las evaluaciones de las políticas que buscan la reducción del crimen consiste en un modelo de simulación en dinámica de sistemas. La macroestructura se presenta en la Figura 2, la cual permite identificar con un alto nivel de abstracción las componentes principales del sistema. Este esquema representa en lo fundamental la teoría beckeriana expresada en la ecuación (1), pero incluye como elemento adicional la realimentación dada por lo concerniente a la reacción social.

Figura 2  
Macroestructura del modelo de simulación



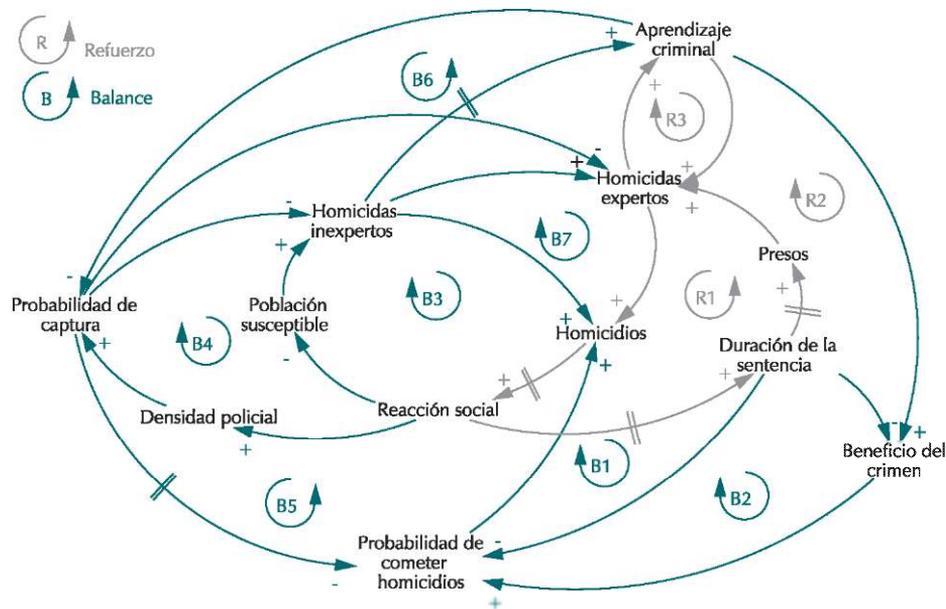
Fuente: elaboración propia.

La macroestructura del modelo de la Figura 2 muestra las componentes principales. El modelo es una abstracción y una simplificación de la realidad, en el que se parte de la teoría económica del crimen (TEC) de Becker y la comprensión de la carrera criminal previamente discutidas. Las componentes son criminales potenciales, criminales activos, evaluación costo-beneficio del crimen y la reacción social. En la Figura se observa que los delitos que cometen los criminales activos dependen de

la población criminal potencial y de la evaluación costo-beneficio que se hace del crimen (aquí se considera, además de la teoría beckeriana, la dinámica reactiva de la población, en cuanto a endurecimiento de penas y el mejoramiento de la efectividad del aparato jurídico-policial). El nivel del crimen conlleva una reacción social que afecta tanto a la potencial población criminal como a la evaluación costo-beneficio del crimen.

A partir de esta abstracción de la macroestructura del modelo, la Figura 3 presenta el diagrama causal que muestra las relaciones causa-efecto entre las variables<sup>1</sup> y en el que se despliega la hipótesis dinámica de la interacción entre el crimen y la carrera criminal, a partir de la TEC.

Figura 3  
Hipótesis dinámica detallada del modelo del sistema de la carrera criminal y el crimen



Fuente: elaboración propia.

<sup>1</sup> Los diagramas causales representan las relaciones causa-efecto por medio de flechas. Cuando éstas son positivas (+), significa que un cambio en la variable de origen genera un cambio en la misma dirección en la variable de llegada, si el resto permanece constante; son negativas (-) cuando el cambio en la variable de llegada es opuesto al de la variable de origen. Las relaciones forman ciclos de realimentación de refuerzo (R), o de balance (B). Las líneas paralelas pequeñas que atraviesan las flechas representan retardos. Véase Sterman (2000) para profundizar en el tema.

El diagrama causal de la Figura 3 nos indica una serie de ciclos tanto de balance (expresados por medio de la letra B y un número) como de refuerzo (expresados por medio de la letra R y un número). En ella se observa cómo los homicidios aumentan cuando se incrementa la probabilidad de cometer homicidios, que se realimentan cuando los beneficios del crimen son muy altos. La población susceptible representa a la población potencial de comenzar una carrera criminal, la cual depende de cuatro factores de riesgo que son: *a)* el factor biológico (factores genéticos y fisiopatológicos), *b)* el entorno familiar en que crece el individuo, *c)* los pares o amigos como factores propios del entorno social, y *d)* el contexto comunitario. Estos elementos son determinantes en el aumento de la población susceptible.

En la Figura 3 se observan varios ciclos de realimentación de refuerzo (R) y de balance (B). Los ciclos R1, R2 y R3 muestran el impacto de la duración de la sentencia y de la probabilidad de cometer un homicidio. Según Blumstein (2003), la carrera criminal de un individuo puede interrumpirse por el tiempo de encarcelamiento. Por lo tanto, mientras más demore un individuo en prisión, es más factible su reintegro social. También se observa que la reacción de la sociedad logra, como es planteado por Blumstein, aumentar la duración de la sentencia. Además, mientras más homicidas expertos se encuentren en la ciudad, más asociaciones criminales se crearán, esto asociado a la cuarta etapa de formación de la carrera criminal, ya discutida. Se amplía, entonces, la TEC al introducir en el modelo dos niveles de criminales, los inexpertos y los expertos, precedidos por aquellos que fueron potenciales criminales en su momento, con lo que queda formulada la carrera criminal, la cual se interrumpe con el encarcelamiento y concluye con la muerte de los individuos.

En particular, recientes investigaciones sobre el crimen en Colombia (Jaén y Dyner, 2004) han utilizado el modelo desarrollado por Bourguignon –una variación del de Becker–, que incluye la variable honestidad. Jaén y Dyner utilizan la formulación siguiente para representar la probabilidad de cometer un homicidio:

$$p(O) = \frac{q_c}{f + q_c} (1 - p) (1 - p_h) \quad (2)$$

donde  $q_c$  es la duración de la carrera criminal,  $f$  es la duración de la sentencia o condena,  $p$  es la probabilidad de ser capturado y condenado y  $p_h$  es la probabilidad de respetar la ley. Esta expresión se adoptó dentro del modelo de simulación reportado en este trabajo.

En la Figura 3 también se observan los ciclos de balance B, los cuales se dan principalmente debido a la reacción de la sociedad (ciclos B1 y B2). En el modelo se plantea

que la reacción social, además de tomar tiempo en consolidarse, también tarda en el proceso de concretarse mediante políticas de aumento de la probabilidad de captura y de la duración de la sentencia. La reacción de la sociedad genera presión para el incremento de la densidad policial, como resultado de un aumento de los homicidios. El incremento en la densidad policial aumenta la probabilidad de captura. Esta situación hace que la probabilidad de cometer un crimen disminuya al ser menos atractivo consumir un homicidio, consistente con la TEC de Becker (como se expresa en la Figura 1).

El modelo desarrollado es un conjunto de ecuaciones diferenciales acopladas. Se tienen o consideran como variables de estado o de nivel la población susceptible, los criminales inexpertos y expertos, y la población carcelaria. Estas variables cambian a través de flujos tales como la tasa de iniciación, la tasa de aprendizaje, el aumento de la población susceptible, entre otros. Las ecuaciones del modelo formal se presentan en el Anexo.

#### A. MODELO FORMAL DE SIMULACIÓN

El modelo se formalizó en función de ecuaciones (véase el Anexo), se implementó en Powersim Constructor 2.51 y permite realizar simulaciones bajo varias condiciones controladas. Las poblaciones se representan como variables de nivel (o de estado). Los individuos de la población susceptible pueden iniciar la carrera criminal y pasar al nivel de la población criminal principiante y, después de un tiempo de aprendizaje, pasan a la población criminal de expertos. Tanto los criminales principiantes como los expertos pueden ser capturados y pasar a la población carcelaria, en función de la probabilidad de captura previamente presentada en la ecuación (1), para pasar necesariamente a ser parte de la población criminal de expertos después del cumplimiento de la sentencia.

Adicionalmente, los niveles de las poblaciones que se representan en el modelo se reducen por las muertes o la rehabilitación y reinserción a la sociedad. La población susceptible puede aumentar o disminuir de acuerdo con las políticas de inclusión social (por ejemplo, mayor cobertura en educación y salud). El inicio de la carrera está asociado con la cantidad de homicidas expertos, debido a la influencia de éstos en la iniciación de los homicidas inexpertos y de la población susceptible a hacer una carrera criminal. La población susceptible crece debido a la tasa real de crecimiento de la población susceptible, que a su vez es función de una tasa “normal” de crecimiento

de la población susceptible por una función no lineal de la reacción de la sociedad, la cual amplifica o disminuye la tasa normal. La reacción de la sociedad está basada en el aumento o disminución de los homicidios: a mayor cantidad de homicidios, mayor es la reacción de la sociedad, a través del incremento del pie de fuerza policial. Para mayor detalle, el anexo presenta las ecuaciones del modelo.

## B. ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS Y CONDICIONES INICIALES

Los parámetros y las condiciones iniciales del modelo fueron estimados por diferentes métodos. A continuación se presentan algunos de los parámetros y condiciones iniciales más representativos:

- Por un lado, la duración promedio de la sentencia se estimó en 17 años. Según la ley 906 (Congreso Nacional de la República, 2004), un homicidio agravado tiene una pena que oscila entre los 25 y los 40 años. Con los diferentes beneficios existentes, se puede obtener una rebaja de la condena de la tercera parte. Por otro lado, según encuestas, se estima la duración de la carrera criminal en 10 años.
- Se determinaron los siguientes valores iniciales: 6.000 jóvenes en pandillas estimados por Antía (2002), de los cuales el 40% (2.400) son homicidas y el 30% de éstos son novatos (720) (INPEC, 2008). A la fecha de inicio de la simulación, según el Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario (INPEC) la población carcelaria era aproximadamente de 5.400 presos (INPEC, 2008). La población policial se estimó en 6.000 policías (Antía, 2002).

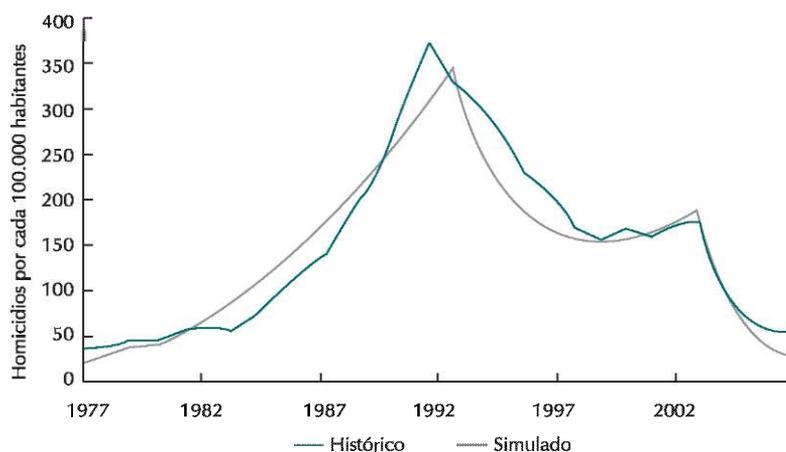
Adicional a los parámetros previamente descritos, el modelo fue calibrado para estimar valores no determinados. El modelo fue sometido a análisis de Montecarlo para estudiar la sensibilidad de los parámetros. La siguiente sección describe este proceso.

## C. VALIDACIÓN DEL MODELO

Se validó el modelo tanto en su estructura como en su comportamiento. Para la validación de la estructura se utilizó un panel *ad hoc* de expertos. El modelo pasó satisfactoriamente pruebas de límites con valores extremos, se realizaron varias inspecciones directas sobre las ecuaciones que definen el modelo sin encontrar violación de

leyes físicas de conservación de la materia y la energía y consistencia dimensional. El modelo fue sometido a análisis de Montecarlo, para estudiar la sensibilidad de la incertidumbre en parámetros como la efectividad de la criminalidad, y a otra serie de pruebas para crear confianza en el modelo. Para la validación del comportamiento se compararon valores simulados con la información real del período comprendido entre 1977 y 2006, como se ve en el Gráfico 2. El Gráfico muestra cómo el modelo explica el crecimiento de los homicidios en la ciudad de Medellín con su posterior caída a partir del año 1991. Previamente, el modelo fue calibrado ajustando parámetros tales como la tasa natural de crecimiento y el tamaño de la población susceptible, así como el retardo en el aprendizaje del crimen. La calibración fue realizada utilizando algoritmos genéticos. Todos éstos fueron sometidos a análisis de sensibilidad.

Gráfico 2  
Comportamiento de la criminalidad en Medellín: comportamiento histórico frente a simulado y resumen de estadísticos del ajuste histórico



Estadístico	Valor
Coefficiente de determinación, R <sup>2</sup>	0,93
Error medio absoluto, EMA (H x 100 hab.)	22,35
Error porcentual medio absoluto, EPMA (%)	23,86
EMA/Media (%)	15,70
Error medio cuadrático, EMC	1.187,14
Raíz error medio cuadrático (H x 100 hab.)	34,45
U <sub>s</sub> *	0,02
U <sub>v</sub> *	0,17
U <sub>c</sub> *	0,81

\* U<sub>s</sub>, U<sub>v</sub> y U<sub>c</sub> corresponden a las componentes de sesgo, varianza y covarianza, respectivamente, y representan la descomposición de Theil (Theil, 1966).  
Fuente: elaboración propia.

El Gráfico 2 presenta también un resumen de estadísticos del ajuste histórico del modelo. De particular relevancia, se observa un coeficiente de determinación de 0,93, bastante cercano a 1. La descomposición del error medio cuadrático de Theil (Theil, 1966) muestra cómo la principal componente del EMC es la covarianza, es decir,  $Uc$ , por encima de la componente de sesgo  $Us$  y de la componente de varianza  $Uv$ . Esto corrobora las dificultades que se tuvieron para poner en fase el comportamiento del modelo con el comportamiento histórico; sin embargo, el ajuste histórico, complementado con una inspección visual, nos muestra que el modelo representa el comportamiento del sistema de estudio.

Una vez presentada la formalización y validación del modelo, a continuación se muestra su aplicación en la evaluación de políticas públicas dirigidas a la reducción de la criminalidad.

#### IV. SIMULACIÓN DE POLÍTICAS PARA LA REDUCCIÓN DE LA CRIMINALIDAD

Las políticas que se aplican para el control de la criminalidad pueden clasificarse en dos categorías (Kliksberg, 2002): la vía punitiva y la vía preventiva. En general, con la vía punitiva se propone castigar cualquier falta incrementando la sentencia. La política de “tolerancia cero” en Nueva York y otras ciudades es un ejemplo en este sentido. Mientras que la vía punitiva se dirige a acciones de fuerza, la vía preventiva se encamina a acciones educativas o de cultura ciudadana.

##### A. VÍA PUNITIVA FRENTE A VÍA PREVENTIVA

Por un lado, la vía punitiva adopta medidas de acción directa tales como el incremento del número de efectivos policiales, dar mayor discrecionalidad a la policía, modificar los códigos penales para reducir las garantías que “obstaculizan” el trabajo policial, e incrementar el gasto general en seguridad. La vía punitiva propone imposibilitar la carrera criminal aumentando la probabilidad de captura y la duración de la sentencia, y de esta manera hacer menos atractivo el crimen. Por el otro lado, la vía preventiva plantea soluciones sostenibles y busca prevenir el mismo comienzo de la carrera criminal; a través de mecanismos de cohesión social o de cultura ciudadana, en muchos casos esta vía se aparta del enfoque de corto plazo de la vía punitiva.

Las vías punitivas y preventivas muestran evidencias que aparentan ser contrarias en lo que se refiere a su efectividad. Por un lado, Levitt (1996), Spelman (1994) y Cohen (1983) han mostrado la efectividad de las sentencias carcelarias fuertes, pues logran interrumpir la carrera criminal del infractor por largo tiempo y, adicionalmente, hacen menos atractivo el crimen. Por otro lado, Wacquant (2000) y Kliksberg (2002) plantean que la punición produce resultados muy pobres, pues además de afectar primordialmente a las capas más desprovistas de la sociedad, se convierte en una tremenda máquina de pauperización. Las diversas alternativas son evaluadas por medio del modelo de simulación antes descrito.

#### B. ESCENARIO BASE Y ALTERNATIVOS DE SIMULACIÓN

Para examinar el efecto de las políticas tanto de la vía punitiva como de la preventiva, inicialmente se construye un escenario o caso base que busca reflejar la política y las condiciones del sistema actual, como punto de partida para comparar las diferentes políticas alternas. El escenario base se construye con los parámetros del modelo mostrados en las ecuaciones del sistema (véase el Anexo). De particular interés, algunos de los parámetros más representativos son la duración de la sentencia de 17 años, la tasa normal de crecimiento de la población susceptible del 5% (estimación promedio del crecimiento actual de la población susceptible) y un retardo en el aprendizaje del crimen de 1,5 años. Simulaciones del escenario base se presentan en el Gráfico 3, línea 1. Sin embargo, la tasa real de crecimiento de la población susceptible es una función no lineal de la reacción social, como se describió en el modelo y se presenta en las ecuaciones de éste.

El comportamiento del escenario base muestra cómo la criminalidad disminuye en los primeros años y luego retoma niveles mayores, principalmente debido al crecimiento de la población susceptible. El incremento de la población susceptible conlleva un incremento en el número de individuos que ingresan a la carrera criminal, primero como inexpertos que, después de un período de aprendizaje, pasan a ser expertos –al haber más homicidas se incrementa el crimen y la reacción social no alcanza a contrarrestarlo. De la misma manera, se observa una tendencia creciente tanto en el número de homicidas inexpertos como en la fuerza pública, la cual crece en respuesta a la presión social generada por el incremento criminal. Esto se evidenció en Medellín en el año 2009, cuando el aumento de la criminalidad produjo un aumento en la fuerza policial de la ciudad.

El escenario base descrito en esta sección sirve como punto de partida para la evaluación de diferentes políticas. A continuación se presentan simulaciones del efecto de las políticas punitivas, preventivas e integrales en las actividades criminales.

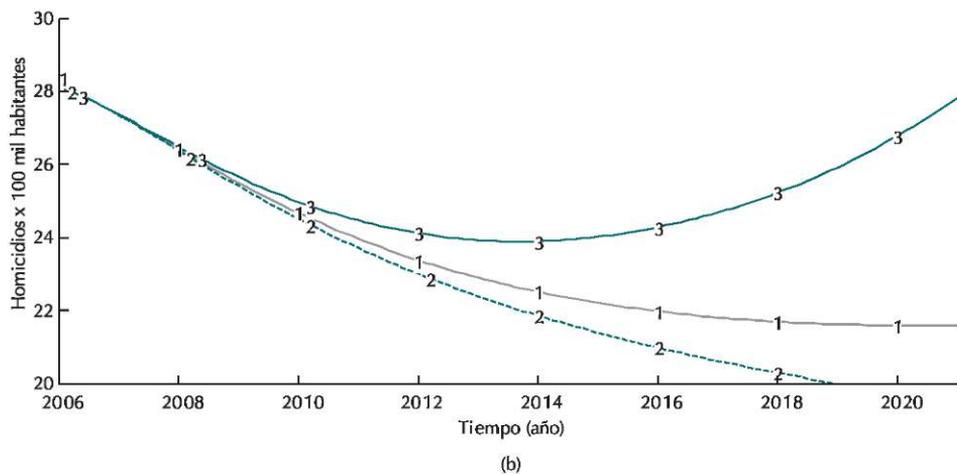
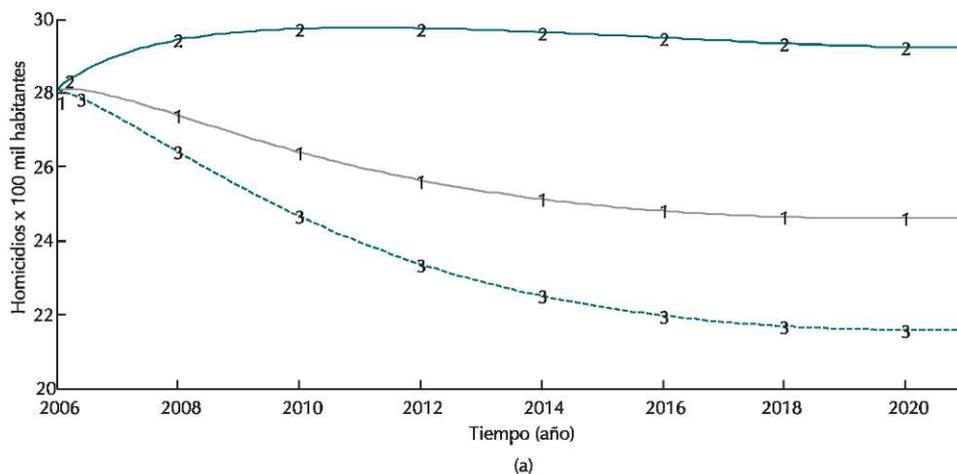
### C. SIMULACIÓN DE POLÍTICAS CONTRA LA CRIMINALIDAD EN MEDELLÍN

A partir del escenario base se realizaron simulaciones de políticas de reducción de la criminalidad, tanto de la vía punitiva como de la preventiva. Las políticas de la vía punitiva se analizaron al variar la duración de la sentencia y el tamaño de la fuerza policial. Además, se analizaron políticas de la vía preventiva como el apoyo a la cultura ciudadana, que implica una reducción en la tasa de normal crecimiento de la población susceptible. Simulaciones de las políticas de la vía punitiva se muestran en el Gráfico 3(a) y de la vía preventiva en el Gráfico 3(b), ambas descritas en las siguientes secciones.

#### 1. Simulación de políticas punitivas

El Gráfico 3(a) muestra simulaciones de políticas de la vía punitiva. Los resultados indican cómo al aumentarse la duración de la sentencia e incrementarse el pie de fuerza se reduce el índice de criminalidad. El aumento de la duración de la sentencia tiene efectos positivos en dos direcciones. Por un lado, incrementa el tiempo de permanencia en prisión de los homicidas; por el otro, una mayor duración de la sentencia reduce el beneficio del crimen según la teoría beckeriana. Una reducción en el beneficio del crimen implica una reducción en la probabilidad de cometer homicidio según la ecuación (2), y, por lo tanto, conlleva una reducción en el número de homicidios. La simulación muestra una reducción de 28 a 22 asesinatos por cada 100.000 habitantes, con una tendencia asintótica, lo cual muestra algunas limitaciones de dicha política. La aplicación de esta política implica un aumento en la población de presos por asesinatos en los primeros años de la simulación, de 1.449 presos a 1.551 entre el inicio de la simulación y el año 2010, lo que implica un incremento anual de costos de aproximadamente 560.000 dólares. Cabe anotar que aun cuando el modelo sólo considera los presos por homicidios, se puede deducir que un aumento en las capturas por homicidio incrementa también las capturas por otros delitos conexos, los cuales no son considerados explícitamente en el modelo.

Gráfico 3  
Simulaciones de políticas para reducción del crimen



(a) variación de la duración de la sentencia (1 = 17 años caso base; 2 = 10 años; y 3 = 25 años)  
 (b) variación de la tasa de crecimiento normal de la población susceptible (1 = 5% caso base; 2 = 2%; y 3 = 10%)  
 Fuente: elaboración propia.

## 2. Simulación de políticas preventivas

Simulaciones de políticas de la vía preventiva se muestran en el Gráfico 3(b), donde se presentan simulaciones de variaciones de la influencia de la política particular de convivencia ciudadana; esto se materializa en una reducción en la tasa de crecimiento normal de la población susceptible. Los resultados indican que en la medida en

que la población susceptible deje de crecer, se mejoran los índices de criminalidad, teniendo en cuenta que una reducción del crecimiento de la población susceptible conlleva una importante inversión social, entre otras implicaciones. De acuerdo con la hipótesis dinámica del sistema, la reducción en la población susceptible implica una reducción en el número de individuos que ingresan como inexpertos a la carrera criminal, lo cual reduce la fuente de iniciación de criminales y, por lo tanto, el número de crímenes. La inversión social puede significar valores del orden de 21 millones de dólares para el caso base y puede llegar al doble para el caso 2. El caso negativo se muestra al reducir el presupuesto y permitir un crecimiento de la población susceptible: la inercia del sistema lleva a una continuación de la reducción de la criminalidad, pero mucho más lenta, y peor aún, a un escenario de crecimiento de la criminalidad en el mediano y el largo plazo. Este caso opuesto explica cómo el incremento de la población susceptible conlleva un incremento en el número de individuos en formación criminal y, en el largo plazo, un aumento en los crímenes.

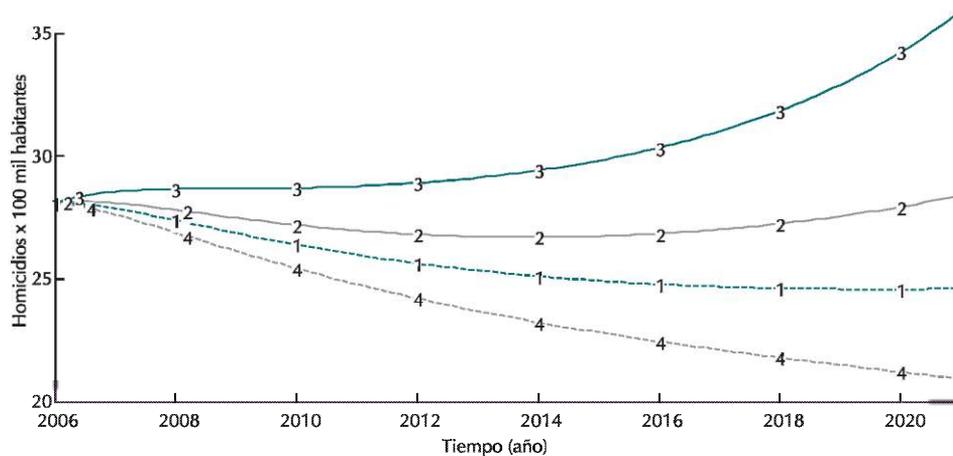
Se realizaron sensibilidades adicionales. Se tomó como caso de políticas de la vía punitiva la reacción de la sociedad, considerándola mucho más agresiva, aumentándola en un 15% con respecto al escenario base. Para este caso se aprecia una reducción de la criminalidad en el corto plazo, pero con una recuperación importante en el largo plazo, lo cual es consistente con Kliksberg (2002), quien argumenta que la vía punitiva obtiene algunos efectos en el corto plazo, pero que son pasajeros, ya que a mediano y largo plazo los índices delictivos siguen incrementándose. Esto se explica al considerar que aun cuando un incremento en la fuerza policial puede lograr efectos en el corto plazo, después de un tiempo éstos son superados por el incremento “natural” en el número de criminales (y en su correspondiente actividad), antes de darse una nueva reacción por parte de la sociedad.

### **3. Simulación de políticas punitivas y preventivas simultáneamente**

Considerando un escenario más incluyente, se asumió que una administración estaría más interesada en formular políticas integrales que contemplen simultáneamente tanto la vía punitiva como la preventiva. Para esto se realizaron simulaciones en las que se tomaron todas las políticas que mejoran el indicador de homicidios, asumiendo valores muy conservadores comparados con los previamente simulados. Adicionalmente, se compararon con la situación inversa, es decir, donde se aplican políticas que resultan contrarias a los potenciales efectos positivos (por ejemplo, la reducción de penas por razones de hacinamiento en las cárceles). Las simulaciones de estos casos se presentan en el Gráfico 4, el cual presenta un abanico de potenciales

escenarios futuros de criminalidad en Medellín. En términos generales, se observa la efectividad de la combinación de todas las potenciales políticas de reducción del crimen de manera integral, pero también el potencial problema que puede tener una errónea aplicación simultánea de políticas y que podría generar una mayor criminalidad.

Gráfico 4  
Simulaciones de políticas integrales para reducción del crimen



1 = escenario base; 2 = duración de sentencia de 15 años y tasa de crecimiento de la población susceptible de 7%; 3 = duración de sentencia de 12 años y tasa de crecimiento de la población susceptible de 9%; 4 = duración de sentencia de 20 años y tasa de crecimiento de la población susceptible de 2%.  
Fuente: elaboración propia.

La mejor combinación de políticas de disminución del crimen es la presentada en la línea 4 del Gráfico 4. Ésta considera una extensión de la duración media de la sentencia a 20 años y una tasa normal de crecimiento de la población susceptible de 2%, cuyo resultado indica una continuación de la tendencia decreciente de la criminalidad hasta valores cercanos a 20 homicidios por cada 100.000 habitantes en el largo plazo. Esta reducción en la criminalidad se explica por los mecanismos de efecto de ambas políticas: *a)* un incremento en la duración media de la sentencia reduce el número de homicidas activos y reduce el beneficio del crimen, y por tanto, una reducción de homicidios (efecto de corto plazo); *b)* una reducción en la población susceptible reduce la cantidad de homicidas y, por consiguiente, la criminalidad, con efectos de largo plazo debido a su incidencia sobre la carrera criminal. La aplicación de esta política tiene implicaciones de costos en su aplicación. Para reducir el crecimiento de la población susceptible a menos del 2% sería necesario, al menos, duplicar el presupuesto que se invierte anualmente en convivencia ciudadana. Adicionalmente, el número de presos se aumenta en el corto plazo de 1.449

al inicio de la simulación a 1.503 en el año 2010, con un incremento anual de costos de aproximadamente 300.000 dólares. Sin embargo, a partir de 2010 la población de presos por homicidios comienza a descender, debido a que al reducirse la población susceptible se reduce el número de homicidas inexpertos y expertos y, por lo tanto, se reduce la población que va a prisión.

Adicionalmente, la simulación de la política más optimista resulta en una reducción tanto de los criminales expertos y aún mayor de los inexpertos. Las reducciones son aproximadamente de 40% de los criminales inexpertos y un 35% de los criminales expertos, entre el inicio de la simulación y el año 2015. Los criminales expertos perderán personal de apoyo y en este sentido desaparecerá parte del aprendizaje criminal acumulado durante la carrera de ellos, con lo que se logra también que los expertos disminuyan.

El panorama negativo en cuanto a criminalidad lo muestra la simulación de la línea 3 del Gráfico 4. Este escenario muestra una política de disminución de la pena promedio a 9 años y una reducción en el presupuesto de convivencia ciudadana a la mitad, quedando del orden de aproximadamente 10 millones de dólares), lo que se ve reflejado en una tasa normal de crecimiento de la población susceptible de 9%. Acciones de este tipo pueden ser emprendidas por un gobierno con una visión de corto plazo con respecto a las políticas al considerar una situación de violencia tolerable. Efectivamente, esta política representa una reducción del número de presos de 1.449 al inicio de la simulación a 1.310 en el año 2010 y a 990 en el año 2015, lo que implica una reducción en los costos de las cárceles. No obstante, a pesar de que esta política conlleva una estabilización de la tasa de criminalidad en el corto plazo, en el largo plazo se observa un crecimiento exponencial no deseado.

La aplicación de ambas políticas tiene implicaciones económicas. El incremento de la duración de la sentencia implica una continuación y un aumento del problema de hacinamiento carcelario que ha pasado de 10% en 1995 a 41% en 2005 (Toro, 2005). Adicionalmente, el incremento de la sentencia media implica una mayor permanencia de los presos, cuyo costo es aproximadamente de 10 millones de pesos colombianos<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Este resultado se obtiene con base en la población carcelaria reportada por el Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario (INPEC, 2008) y en el presupuesto de funcionamiento para el año 2007.

anuales por preso (cerca de 5.500 dólares). El incremento en la fuerza pública se ha dado en los últimos años con el apoyo de la Empresa Metropolitana para la Seguridad (Metroseguridad, 2008), cuya misión consiste en el apoyo logístico e institucional a organismos de seguridad, las fuerzas armadas y la policía, mediante planes de acción del municipio y el desarrollo de programas de seguridad. El costo asociado a esta política para el año 2007 ascendió a 66.215 millones de pesos colombianos (aproximadamente 36 millones de dólares) (Municipio de Medellín, 2007). Además, el número de policías en Colombia en 2006 aumentó 14% respecto a 2004, pasando de 305 policías por cada 100.000 habitantes a 332. Para la aplicación de una política preventiva de convivencia ciudadana se cuenta con una secretaría cuyo presupuesto de funcionamiento fue de 42.663 millones de pesos colombianos (unos 21 millones de dólares) para el año 2008.

A partir de la simulación se observa cómo la aplicación de una combinación de políticas que pueden traer resultados positivos en el corto plazo, al menos aceptables para el período de gobierno, también lleva al sistema a resultados negativos en el largo plazo. Este comportamiento es contraintuitivo y es observado en diferentes sistemas sociales complejos donde es importante la realimentación y los retardos (Forrester, 1971; Sterman, 2000). De esta manera, se muestra evidencia del tipo de comportamientos revelados a través de la simulación con modelos de dinámica de sistemas, que intuitivamente o por una simulación mental no es fácil comprender.

## V. CONCLUSIONES

Este artículo evalúa diferentes políticas públicas para la reducción de la criminalidad en la ciudad de Medellín, utilizando un modelo de simulación que considera simultáneamente la carrera criminal del homicida y la teoría económica del crimen de Becker. Los resultados de las simulaciones permiten analizar algunos lineamientos para las políticas públicas de la administración municipal en la próxima década, entendida como una combinación de medidas de tipo punitivo y preventivo para lograr reducir, de manera sostenible, los niveles actuales de criminalidad.

Con el soporte del modelo propuesto se puede deducir que por la vía *preventiva* se debe buscar un crecimiento normal de la población susceptible inferior al 5% anual, de manera que se pueda lograr un ritmo decreciente de criminalidad. Esto se haría a través de la política de convivencia ciudadana, con un costo aproximado de 21 millones de dólares anuales. Simulaciones muestran la dominancia de esta variable

en la criminalidad, pues la carrera criminal se ve reducida al disminuir el ingreso de criminales a ella.

Por la vía *punitiva* se recomienda un aumento de la fuerza pública y una duración promedio de la sentencia no inferior a 17 años, lo que corresponde a la legislación actual de Colombia después de los beneficios por diferentes esquemas. Los resultados de simulación muestran que la reducción en las sentencias, argumentando una saturación de las cárceles, lleva a incrementos de la criminalidad. Adicionalmente, el análisis de la reacción de la sociedad, manifestada en un incremento la densidad policial muestra una reducción de la criminalidad pero que con el tiempo se recupera agresivamente. Estos resultados son consistentes con Kliksberg (2002), para quien la vía punitiva obtiene algunos efectos aparentes de corto plazo, pero perjudiciales en el mediano y largo plazo.

El inicio de la carrera criminal está sujeto a diferentes factores de riesgo y la duración de la carrera criminal está dada por las cuatro etapas de formación del criminal: primero está el proceso de inserción, en segundo lugar la formación básica, en tercer lugar la inercia criminal y, por último, el criminal profesional; las dos primeras etapas corresponden a los criminales inexpertos y la dos últimas a los criminales expertos. Las simulaciones muestran cómo, con una apropiada combinación de la vía preventiva y la punitiva, se pueden lograr reducciones del orden del 40% de los criminales inexpertos y de un 35% de los criminales expertos, entre el inicio de la simulación y el año 2015. De esta manera, se lograría romper algunos vínculos del proceso de enseñanza-aprendizaje entre expertos e inexpertos que existe en la carrera criminal.

Una mezcla de políticas produce mejores resultados, pues se combinan las punitivas para buscar efectos en el corto plazo con las preventivas que los muestran en el largo plazo. Como ejemplo, se simuló una política que llevara a incrementar a 20 años la duración media de la sentencia y a reducir a 2% la tasa normal de crecimiento de la población susceptible, cuyo resultado indicó una tendencia decreciente de la criminalidad hasta llegar a valores cercanos a 20 homicidios por cada 100.000 habitantes en el largo plazo. Esto debido a la combinación de efectos de ambas políticas, así: *a)* un incremento de la sentencia reduce el número de homicidas activos y reduce el beneficio del crimen; *b)* una reducción en la población susceptible reduce el número de criminales y, por lo tanto, la criminalidad.

Por medio de simulación se observó que la aplicación de políticas de manera desarticulada y sin análisis de largo plazo puede llevar a incrementos en la criminalidad en el largo plazo, es decir, a un comportamiento contraintuitivo, debido a la complejidad en el sistema. Por ejemplo, la reducción de sentencias, argumentando congestión en las cárceles, y la reducción de la inversión social con incremento en la población susceptible pueden empeorar la situación, a pesar de ser políticas que solucionan un problema particular (la congestión en las cárceles).

Finalmente, esta aplicación muestra que la dinámica de sistemas es una herramienta de apoyo apropiada para la toma de decisiones de política social, y en particular para evaluar las políticas que busquen la reducción de la criminalidad. Esta aproximación puede ser extrapolada a otros casos similares, donde existan fenómenos con realimentación, no linealidades y retardos entre las relaciones causa-efecto que compongan el sistema.

## REFERENCIAS

1. Antía, G. "Epidemiología de los homicidios y de la criminalidad en el valle de Aburrá", *Revista Tecnológico de Antioquia*, núm. 10, pp. 44-57. 2002.
2. Becker, G. S. "Crime and Punishment: An Economic Approach", *Journal of Political Economy*, vol. 76, num. 2, pp. 169-217, 1968.
3. Beltrán, I.; Salcedo, E. "¿Por qué no hay una relación entre crimen y distribución del ingreso en Colombia? Una explicación para el período 1976-1997 a partir de la evolución de la actividad criminal", *Borradores de Método*, núm. 3, 2003.
4. Blumstein, A. *Deterrence and Incapacitation: Lessons Learned in the American War Against Drugs*, International Seminar on Crime and Violence Prevention Policies in Urban Settings, Bogotá, 22 de Mayo, 2003.
5. Blumstein A.; Rosenfeld, R. "Explaining Recent Trends in U.S. Homicide Rates", *Journal of Criminal Law and Criminology*, vol. 88, num. 4, pp. 1175-1216, 1998.
6. Bourguignon, F. "Crime as a Social Cost of Poverty and Inequality: A Review Focusing on Developing Countries", in S. Yusuf, S. Evenett and W. Wu (eds.), *Facets of globalization: International and local dimensions of development*, Washington, World Bank, 2001.
7. Cardona, M.; García, H. I.; Giraldo, C. A.; López, M. V.; Suárez, C. M.; Corcho, D. C.; Posada, C. H. "Escenarios de homicidios en Medellín (Colombia) entre 1990-2002", *Revista Cubana de Salud Pública*, vol. 31, núm. 3, pp. 202-210, 2005.
8. Cohen, J. "Incapacitation as Strategy for Crime Control: Possibilities and Pitfalls", in M. Tonry and N. Morris (eds.), *Crime and justice: An annual review*, vol. 5, Chicago, University of Chicago Press, 1983.
9. Congreso Nacional de la República, Colombia. "Ley 906 de 2004, Código de Procedimiento Penal", 31 de agosto, 2004.
10. Empresa Metropolitana para la Seguridad (Metroseguridad). <http://www.metroseguridad.gov.co>, página consultada en marzo de 2008.
11. Forrester, J. W. "Counterintuitive Behavior of Social Systems", *Technology Review*, vol. 73, num. 3, pp. 52-68, 1971.
12. Gaviria, A. "Increasing Returns and the Evolution of Violent Crime: The Case of Colombia", *Journal of Development Economics*, vol. 61, num. 1, pp. 1-25, 2000.
13. Hernández, J. J.; Dyer, I. *Crisis in Colombian Prisons: Cause or Consequence of a Flawed Judicial System?*, proceedings of the 19<sup>th</sup> International Conference of the System Dynamics Society, Atlanta (GA), 1999
14. Instituto Nacional Penitenciario y Carcelario (INPEC). <http://www.inpec.gov.co>. La situación penitenciaria y carcelaria en Colombia , 27 de septiembre, 2005.
15. Jaén, J. S.; Dyer, I. *Evaluación de políticas para la reducción de la criminalidad en Colombia: Un estudio a partir de la dinámica entre las organizaciones criminales y la construcción de capital social*, Medellín, 2004.
16. Kliksberg, B. *El crecimiento de la criminalidad en América Latina: Un tema urgente*, Washington, BID, 2002.
17. Levitt, S. D. "The Effect of Prison Population Size on Crime Rates: Evidence From Prison Overcrowding Litigation", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 111, num. 2, pp. 319-352, 1996.
18. Municipio de Medellín, República de Colombia. "Decreto 2046, Presupuesto General de Rentas y Recursos", 28 de diciembre, 2007.
19. Posada, C. E. "Modelos económicos de la criminalidad y la posibilidad de una dinámica prolongada", *Planeación y Desarrollo*, vol. 25, pp. 2-17, 21 de abril, 1994.

20. Restrepo, J. A. *Análisis económico de conflictos internos*, Bogotá, Fundación Ideas para la Paz, 2001.
21. Sánchez, F; Núñez, J. “Determinantes del crimen violento en un país altamente violento: El caso de Colombia”, en A. Martínez (ed.), *Economía, crimen y conflicto*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 2001.
22. Spelman, W. *Criminal incapacitation*, New York, Plenum, 1994.
23. Sterman, J. D. *Business dynamics: System thinking and modeling for a complex world*, Homewood (IL), Irwin McGraw-Hill, 2000.
24. Theil, H. *Applied Economic Forecasting*, Amsterdam, North-Holland, 1966.
25. Toro, B. N. “Educación superior en las cárceles colombianas: Acceso a la educación superior en las instituciones carcelarias y penitenciarias de Colombia”, *Estudios sobre la Educación Superior en Colombia*, Bogotá, ASCUN-IESALC-UNESCO, 2005.
26. Wacquant, L. *Las cárceles de la miseria*, Buenos Aires, Manantial, 2000.

## ANEXO

## ECUACIONES DEL MODELO DE SIMULACIÓN

## Notación:

*Init:* Valores iniciales, aplican para variables de estado o de nivel

*Flow:* Derivadas o tasas de flujos

*Aux:* Variables de transformación o auxiliares

*Const:* Constantes

*Doc:* Documentación del modelo (removida en este anexo)

init Expertos = 1.286  
 flow Expertos =  $-dt * \text{Reinserción\_Social} - dt * \text{AbandonoExp} + dt * \text{Liberados\_Continúan} - dt * \text{CapturadoExp} + dt * \text{Tasa\_de\_profesionalización}$   
 init Novatos = 334  
 flow Novatos =  $-dt * \text{AbandonoNov} - dt * \text{Reincursión\_Social} - dt * \text{Tasa\_de\_profesionalización} - dt * \text{CapturadosNov} + dt * \text{Inicio\_Carrera\_Hom}$   
 init Percepción\_de\_prob\_de\_captura = 0,5  
 flow Percepción\_de\_prob\_de\_captura =  $+dt * \text{Cambio\_percepción}$   
 init población\_med = 2.223.660  
 flow población\_med =  $+dt * \text{aumento\_población}$   
 init Población\_susceptible = 100.000  
 flow Población\_susceptible =  $+dt * \text{Aumento\_Población\_Susceptible} - dt * \text{retiro\_población\_suceptible} - dt * \text{Inicio\_Carrera\_Hom}$   
 init Policías = 6.000  
 flow Policías =  $+dt * \text{Aumento\_de\_Policías}$   
 init Presos = 1.449  
 flow Presos =  $-dt * \text{Liberados\_Continúan} - dt * \text{Liberados\_Recuperados} + dt * \text{CapturadoExp} + dt * \text{CapturadosNov}$   
 aux AbandonoExp =  $\text{porcentaje\_retirados} * \text{Expertos}$   
 aux AbandonoNov =  $\text{porcentaje\_retirados} * \text{Novatos} + \text{STEP}(0,38;1.992) * \text{Novatos}$   
 aux Aumento\_de\_Policías =  $\text{Policías} * \text{Tasa\_de\_Aumento}$   
 aux aumento\_población =  $\text{tasa\_crecimiento} * \text{población\_med}$   
 aux Aumento\_Población\_Susceptible =  $\text{Población\_susceptible} * \text{tasa\_aumento\_población\_susceptible}$   
 aux Cambio\_percepción =  $(\text{Probabilidad\_de\_Captura} - \text{Percepción\_de\_prob\_de\_captura}) / \text{Tiempo\_Ajuste\_Prob\_de\_Captura}$   
 aux CapturadoExp =  $\text{Expertos} * \text{Percepción\_de\_prob\_de\_captura} * \text{suceptible\_a\_captura}$

- aux  $\text{CapturadosNov} = \text{Percepción\_de\_prob\_de\_captura} * \text{Novatos} * \text{susceptible\_a\_captura}$
- aux  $\text{Inicio\_Carrera\_Hom} = \text{Población\_susceptible} * \text{Tasa\_de\_contagio}$
- aux  $\text{Liberados\_Continúan} = \text{Presos} / \text{Duración\_sentencia}$
- aux  $\text{Liberados\_Recuperados} = (\text{Presos} - \text{Liberados\_Continúan} / \text{Duración\_sentencia}) * \text{tasa\_de\_reincursión\_social}$
- aux  $\text{Reincursion\_Social} = \text{Política\_de\_Paz} * \text{Novatos}$
- aux  $\text{Reinserción\_Social} = \text{Expertos} * \text{Política\_de\_Paz}$
- aux  $\text{retiro\_población\_susceptible} = \text{Población\_susceptible} * \text{tasa\_retiro\_población\_susceptible}$
- aux  $\text{Tasa\_de\_profesionalización} = (\text{Novatos} - \text{AbandonoNov} - \text{CapturadosNov} - \text{Reincursion\_Social}) / \text{Retardo\_Aprendizaje\_Crimen}$
- aux  $\text{Beneficio\_del\_crimen} = (\text{Duración\_Carrera\_Criminal}) / (\text{Duración\_Sentenciav} + \text{Duración\_Carrera\_Criminal})$
- aux  $\text{Densidad\_Policia} = \text{Policías} / \text{población\_med}$
- aux  $\text{Duración\_Sentenciav} = 12 - \text{STEP}(20; 2.009) * 0$
- aux  $\text{históricos} = \text{GRAPH}(\text{TIME}; 1.975; 1; [(65; 49; 37; 38; 44; 43; 56; 57; 56; 71; 101; 123; 142; 195; 233; 312; 375; 331; 309; 273; 227; 206; 167; 157; 168; 157; 173; 177; 95; 56; 35; 28] \text{Min:0;Max:400;Zoom''})$
- aux  $\text{históricos}_1 = \text{GRAPH}(\text{TIME}; 0.1; [(24; 30; 37; 38; 44; 65; 49; 37; 38; 44; 43; 56; 57; 56; 71; 101; 123; 142; 195; 233; 312; 375; 331; 309; 273; 227; 206; 167; 157; 168; 157; 173; 177; 95; 56; 35; 28] \text{Min:0;Max:400;Zoom''})$
- aux  $\text{Homicidios\_potenciales} = \text{TasaNovato} * \text{Novatos} + \text{Expertos} * \text{TasaExperto}$
- aux  $\text{Homicidios\_X\_100mil\_Hab} = ((\text{Probabilidad\_de\_cometer\_homicidio} * \text{Homicidios\_potenciales}) * 100.000) / \text{población\_med}$
- aux  $\text{Nivel\_de\_Honestidad} = 0,5 + \text{STEP}(0,0; 2.007)$
- aux  $\text{Probabilidad\_de\_Captura} = \text{Tasa\_de\_arrestos} / \text{Homicidios\_X\_100mil\_Hab}$
- aux  $\text{Probabilidad\_de\_cometer\_homicidio} = \text{Beneficio\_del\_crimen} * (1 - \text{Percepción\_de\_prob\_de\_captura}) * (1 - \text{Nivel\_de\_Honestidad})$
- aux  $\text{Reacción\_social\_NroPolicía}_1 = \text{GRAPH}(\text{Homicidios\_X\_100mil\_Hab}; 0; 10; [(0; 0,07; 0,33; 0,63; 1,17; 1,59; 2,09; 2,38; 2,61; 2,71; 2,72] \text{Min:0;Max:3;Zoom''})$
- aux  $\text{Reacción\_social\_NroPolicía\_aume} = \text{GRAPH}(\text{Homicidios\_X\_100mil\_Hab}; 0; 10; [(0; 0,14; 0,66; 1,26; 2,47; 2,84; 3,24; 4,11; 5,26; 6,6] \text{Min:0;Max:6;Zoom''})$
- aux  $\text{Tasa\_de\_arrestos} = \text{Homicidios\_X\_100mil\_Hab} * \text{Tasa\_Efectividad\_Policia}$
- aux  $\text{Tasa\_de\_Aumento} = \text{Reacción\_social\_NroPolicía}_1 * \text{efectivo\_aumento}$

```
aux    Tasa_de_contagio = GRAPH(Expertos;0;100;[(0,000416;0,000416;0,000435
;0,000461;0,000466; 0,000466;0,000474;0,000492;0,000507;0,00051;0,000
515;0,000528;0,000544;0,000544;0,000544;0,000544;0,000544;0,000544;0,
000546;0,000549”Min:0;Max:0.000549”])
aux    Tasa_Efectividad_Policial = Efectividad_real*(Densidad_Policial/
Densidad_ideal)^Sensibilidad
const  Densidad_ideal = 1
const  Duración_Carrera_Criminal = 10
const  Duración_sentencia = 25
const  Efectividad_real = 0,4
const  efectivo_aumento = 0,02
const  poblaarea = 384,6
const  Política_de_Paz = 0,10
const  porcentaje_retirados = 0,004
const  Retardo_Aprendizaje_Crimen = 1,261162
const  Sensibilidad = 1
const  susceptible_a_captura = 0,1
const  tasa_aumento_población_susceptible = 0,1
const  tasa_crecimiento = 0,0159
const  tasa_de_reincursión_social = 0,000048
const  tasa_retiro_población_susceptible = 0,005
const  TasaExperto = 4
const  TasaNovato = 1,09
const  Tiempo_Ajuste_Prob_de_Captura = 19,14
```