

**No.18**  
MARZO DE 2017

# Documentos **CEDE**

ISSN 1657-7191 Edición electrónica.

Edición especial  
**CESED**

Entender y combatir el crimen:  
modelo de comportamiento  
criminal basado en la provisión  
de información

---

Nicolás Rodríguez Sanabria  
Andrés Zambrano

**CESED**  
Centro de Estudios sobre Seguridad y Drogas

**CEDE**  
CENTRO DE ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO ECONÓMICO

 **Universidad de  
los Andes**  
Facultad de Economía

**CESED**  
Centro de Estudios sobre Seguridad y Drogas

**CEDE**  
CENTRO DE ESTUDIOS SOBRE DESARROLLO ECONÓMICO

 Universidad de  
**los Andes**  
Facultad de Economía

Serie Documentos Cede, 2017-18  
ISSN 1657-7191 Edición electrónica.  
Marzo de 2017

© 2017, Universidad de los Andes, Facultad de Economía,  
CEDE. Calle 19A No. 1 – 37 Este, Bloque W.  
Bogotá, D. C., Colombia Teléfonos: 3394949- 3394999,  
extensiones 2400, 2049, 3233  
infocede@uniandes.edu.co  
<http://economia.uniandes.edu.co>

Impreso en Colombia – Printed in Colombia

La serie de Documentos de Trabajo CEDE se circula con propósitos de discusión y divulgación. Los artículos no han sido evaluados por pares ni sujetos a ningún tipo de evaluación formal por parte del equipo de trabajo del CEDE.

El contenido de la presente publicación se encuentra protegido por las normas internacionales y nacionales vigentes sobre propiedad intelectual, por tanto su utilización, reproducción, comunicación pública, transformación, distribución, alquiler, préstamo público e importación, total o parcial, en todo o en parte, en formato impreso, digital o en cualquier formato conocido o por conocer, se encuentran prohibidos, y sólo serán lícitos en la medida en que se cuente con la autorización previa y expresa por escrito del autor o titular. Las limitaciones y excepciones al Derecho de Autor, sólo serán aplicables en la medida en que se den dentro de los denominados Usos Honrados (Fair use), estén previa y expresamente establecidas, no causen un grave e injustificado perjuicio a los intereses legítimos del autor o titular, y no atenten contra la normal explotación de la obra.

Universidad de los Andes | Vigilada Mineducación  
Reconocimiento como Universidad: Decreto 1297 del 30 de mayo de 1964. Reconocimiento personería jurídica: Resolución 28 del 23 de febrero de 1949 Minjusticia.

# **Entender y combatir el crimen: modelo de comportamiento criminal basado en la provisión de información**

Nicolás Rodríguez Sanabria\*

Andrés Zambrano <sup>∞</sup>

## **Resumen**

Las ciudades de Colombia mantienen índices altos de delito a pesar del aumento del gasto en defensa y seguridad. Este trabajo propone y analiza la provisión de información como una estrategia de bajo costo que puede ser efectiva para la disuasión del crimen. Para mostrar su efectividad, desarrollamos un juego dinámico con información imperfecta entre Autoridad y Criminal. En este juego la Autoridad debe decidir si asignar o no un policía a un área determinada y si enviar o no una señal. Por su lado, el Criminal solo observa la señal y debe decidir si comete el crimen o no. Si decide cometerlo será atrapado únicamente si un policía está presente. Uno de los equilibrios muestra que el uso adecuado de la señal puede desincentivar el crimen a través de una mayor percepción de captura sin incurrir en altos costos como el incremento del pie de fuerza. Por último, relacionamos los posibles equilibrios con distintos niveles de desarrollo.

**Palabras clave:** comportamiento criminal, orden público, información asimétrica.

**Clasificación JEL:** K42, D82, D03

---

\* Nicolás Rodríguez S., Asistente de Investigación, Facultad de Economía, n.rodriguez266@uniandes.edu.co

<sup>∞</sup> Andrés Zambrano, Profesor Asistente, Facultad de Economía, ja.zambrano@uniandes.edu.co

# **Understanding and Fighting Crime: Model for Criminal Behavior Based on Information Provision**

Nicolas Rodríguez Sanabria

Andrés Zambrano

## **Abstract**

Despite authorities' increase in defense and security expenditure, cities in Colombia maintain high delinquency rates. This document proposes and analyzes the provision of information as a low cost strategy that could be effective in crime reduction. To show its effectiveness, we develop a dynamic game with imperfect information between an Authority and a potential Criminal. The Authority decides whether to assign a policeman or not and whether to send a signal or not. The Criminal only observes the signal and must decide whether to commit the crime or not. If he decides to commit the crime, he will be arrested only if there is a policeman. One of the equilibria shows that the adequate use of the signal can deter crime through a greater perception of capture without having to incur in high costs such as increasing the police manpower. We also relate equilibria to different stages of development.

**Keywords:** Criminal behavior, law enforcement, asymmetric information.

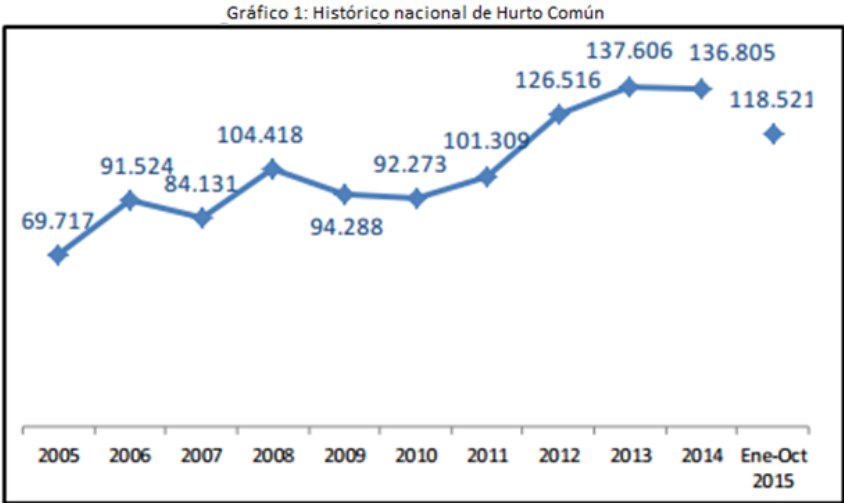
**JEL Classification:** K42, D82, D03

*“A mí no me da miedo aplicar la Autoridad para hacer cumplir la ley. Pero la Autoridad hay que aplicarla basada en la pedagogía, más que en la fuerza, porque eso es lo que la hace legítima”*

*(Antanas Mockus, 2005)*

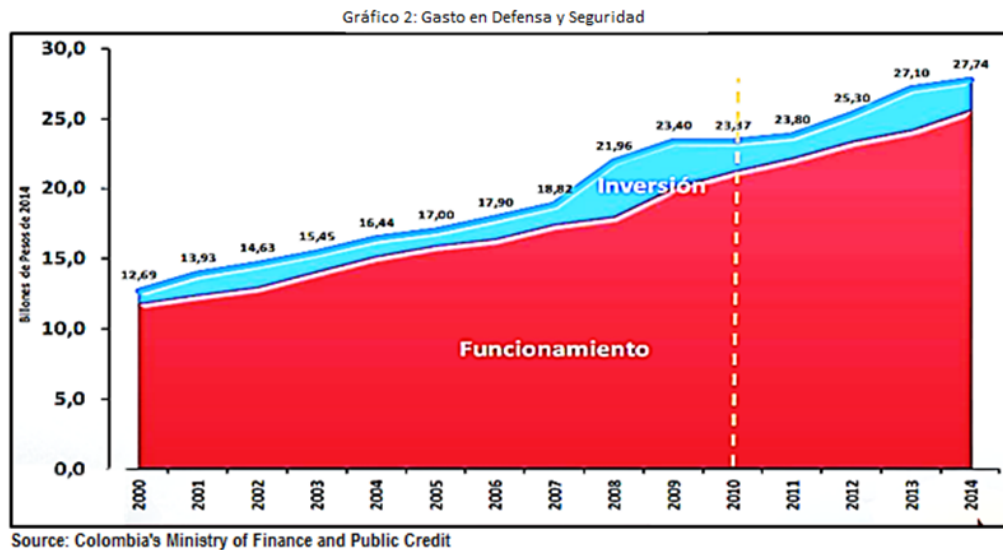
**1. Introducción:**

Colombia es un país que ha tenido que lidiar la mayor parte de su historia con la Criminalidad en sus ciudades. Una tasa alta de delincuencia no solo implica daños directos considerables a la población (Arias et al, 2014), sino también genera un costo indirecto de sustituir la inversión en otros sectores por un mayor gasto en defensa y seguridad. Esta ineficiencia es aún mayor si dicho gasto no es efectivo en la reducción del crimen. En Colombia, a pesar que los recursos invertidos en Seguridad y Defensa han crecido importantemente a través de los años, los índices de Criminalidad siguen aumentando. Esta tendencia se puede apreciar comparando el gráfico 1, que muestra la evolución de la Criminalidad, y el gráfico 2, que presenta la evolución del gasto en seguridad y defensa. El propósito de este trabajo es proponer la provisión de información a través de señales de bajo costo como una estrategia efectiva en la disminución del crimen e implementable en la realidad.



Fuente: Ministerio de Defensa Nacional

El enfoque usado para la lucha contra el crimen ha evolucionado, la fuerza bruta ahora tiene un rol menos importante frente a las estrategias e inteligencia de las fuerzas de seguridad. La psicología también ha tenido un papel central en este cambio de enfoque: entender la mente Criminal y la manera en que los individuos toman decisiones es crucial para combatir el crimen. Las nuevas estrategias que tienen en cuenta estos preceptos pueden llegar a ser más baratas que las ortodoxas e, incluso, tener un mayor impacto. Tomando ideas del conductismo — el estudio de los individuos en términos de estímulos y respuestas — algunos experimentos han probado que es posible influenciar drásticamente el comportamiento de Criminales en potencia al proveerles información, a veces casi imperceptible. A este tipo de estrategias guiadas por el conductismo las vamos a llamar “estrategias débiles” para indicar que son las que hacen uso de la información y los estímulos, en vez de la fuerza o la represión, para influir en la conducta de las personas.



Para mostrar la efectividad de estas estrategias débiles planteamos un juego dinámico con información imperfecta entre una Autoridad y un Criminal. En este juego la Autoridad mueve primero y decide si asignar un policía o no a un área determinada. Luego la Autoridad decide si

enviar o no una señal contingente a la presencia o no del policía. El Criminal no observa la presencia del policía pero sí la señal. Con base en la información observada, el Criminal actualiza sus creencias y decide si cometer el crimen o no. La comisión del delito genera beneficios mayores que no hacerlo; sin embargo, si un policía está presente, será arrestado y su utilidad final será menor.

Este juego tiene cuatro Equilibrios Perfectos Bayesianos de Nash. El primero de ellos es un equilibrio agrupador donde la Autoridad asigna un policía con una probabilidad creciente en los beneficios de cometer un crimen y decreciente en el costo de ser arrestado, y siempre emite la señal sin importar si hay o no un policía. En este caso el individuo no comete el crimen cuando observa la señal y comete el crimen cuando no observa la señal. Sin embargo, este requiere condiciones *ad hoc* sobre las creencias fuera de la trayectoria del equilibrio para que allí cometan crimen y la Autoridad no se quiera desviar.

En el segundo equilibrio agrupador la Autoridad asigna un policía con la misma probabilidad anterior pero nunca emite una señal, mientras el Criminal no comete el crimen cuando no observa la señal. Además, no existen restricciones para las creencias fuera de la trayectoria del equilibrio porque en la trayectoria se obtienen los pagos más altos posibles. Este equilibrio le genera una mayor utilidad a la Autoridad pues utiliza la misma cantidad de policías pero se ahorra el costo de la señal.

En los otros dos equilibrios del juego, todas las creencias son obtenidas con la regla de Bayes y por lo tanto son más robustos que los anteriores. En el tercer equilibrio la Autoridad asigna un policía con la misma probabilidad de los anteriores equilibrios; además no emite señal cuando no hay policía, mientras aleatoriza la señal si hay un policía asignado. En el límite, cuando la Autoridad maximiza su utilidad, no emite ninguna señal. Aunque cualitativamente en el límite la estrategia de la Autoridad es similar a la del segundo equilibrio, esta estrategia híbrida

permite determinar las creencias fuera de la trayectoria del equilibrio como un límite de la regla de Bayes. Dadas estas creencias, el Criminal no comete el crimen si observa la señal y comete el crimen si no observa la señal con una probabilidad igual a la razón entre el costo de la señal (que debería ser suficientemente pequeño) y el beneficio de la Autoridad cuando no se comete el crimen. Por último, en el cuarto equilibrio la Autoridad nunca asigna policía ni emite señales. Lo que implica que los Criminales siempre cometerán el delito.

El análisis revela entonces que existen dos equilibrios deseables para una Autoridad. El primero de ellos se puede asociar al de una sociedad desarrollada donde no hay necesidad de señales y se requiere un mínimo de policías. El segundo equilibrio deseable para una Autoridad es aquel donde se usan señales aleatorias cuando hay policía. Esta estrategia hace que los Criminales se abstengan cuando vean la señal y cuando no la vean cometan crimen en una baja proporción.

Aunque el primer equilibrio deseable es preferible porque nunca se cometen crímenes, exige mucho más del comportamiento de los individuos cuando existen señales. Un ejemplo de esto son los estadios de fútbol donde no existen mallas que separen a los aficionados de los jugadores porque se cree que su uso genera más agresividad por parte de los espectadores. Podemos imaginar que esto podría suceder en países avanzados, donde el crimen callejero no es común y existe una alta cultura cívica. Quizás, en estos países, dudar de la moral del ciudadano podría ser un detonador a la delincuencia. Generar estos comportamientos puede requerir de políticas complementarias que toman más tiempo. Por lo tanto, el segundo equilibrio puede verse como un primer paso en sociedades en desarrollo para llegar al equilibrio más deseable en el mediano plazo.

Este trabajo se compone de cinco secciones. En la sección 2 hacemos una revisión bibliográfica de la evidencia que se tiene en resultados de estrategias débiles alrededor del



mundo. En la sección 3 planteamos el modelo de teoría de juegos, mientras en la sección 4 lo resolvemos e interpretamos los resultados. En la última sección presentamos algunas conclusiones.

## **2. Evidencia de estrategias débiles:**

Una de las estrategias débiles más empleadas para evitar la Criminalidad es la iluminación. Existen dos teorías que explican esto. La primera, afirma que una buena iluminación pública incrementa la capacidad de vigilancia de las Autoridades en la noche y, consecuentemente, disuade a los delincuentes. La segunda, sugiere que las zonas bien iluminadas reflejan una comunidad fuerte con buena seguridad, lo que tiene un impacto tanto en el día como en la noche.

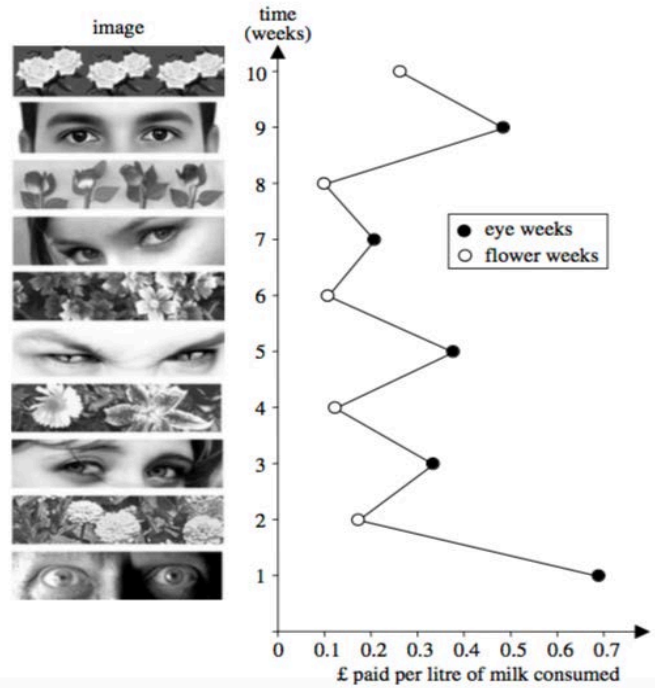
Un estudio reciente sobre casos en Estados Unidos y Reino Unido encontró evidencia mixta para la primera teoría y resultados contundentes para la segunda. El estudio, que recopiló información de día y noche, sugiere que el impacto de la iluminación es más psicológico que físico, ya que el efecto de las luces es notorio aun cuando no se usan en el día (Welsh & Farrington, 2008). Adicionalmente, dos de los casos revisados en el estudio muestran que los beneficios económicos de la reducción del crimen sobrepasan significativamente los costos de implementar la iluminación.

Otro ejemplo del uso de la luz como estrategia débil es el programa de iluminación azul. En 1999, en Glasgow, Escocia, fueron instaladas luces azules en las calles como parte de un plan de innovación para la ciudad. La Autoridades no demoraron en notar que el crimen disminuyó en las localizaciones que contaban con estas luces (Dankova, 2012). De manera similar, en Nara, Japón, las luces azules fueron implementadas en algunos vecindarios en el 2005 y la policía encontró que la cantidad de crímenes disminuyó alrededor del 9% (Shimbun, 2008). Dado que el

programa resultó efectivo, las luces azules se difundieron a otras 17 prefecturas del país, e incluso en algunas de ellas el color azul fue establecido como un símbolo de seguridad (Watanabe, 2011). El efecto de la iluminación azul puede ser atribuido a diversos factores, pero tres de ellos sobresalen: a) el color inusual en las luces de la calle puede alertar a las personas para que actúen con más precaución; b) el azul es fuertemente asociado con la presencia de la policía; c) la luz azul tiene una corta longitud de onda que estimula la producción de serotonina, un neurotransmisor que contribuye a la relajación (Grohol, 2008).

Otra estrategia popular para impedir las conductas Criminales consiste en exhibir la imagen de un par de ojos. La Universidad de Newcastle desarrolló dos experimentos para mostrar cómo un cartel con la imagen de ojos que den la impresión de estar observando influye sobre las decisiones y honestidad de las personas. El primero consistió en alternar la imagen de un cartel puesto en la cafetería de la universidad, donde las personas se servían bebidas y debían dejar su pago en una “caja de la honestidad”. Por 10 semanas las imagen fue rotando entre flores y ojos, como se muestra en el Gráfico 3, y se encontró que los individuos pagaban, en promedio, 2.76 veces más en las semanas con la imagen de ojos (Bateson, Nettle, & Roberts, 2006). En el segundo experimento, fueron puestos carteles similares encima de una plataforma de bicicletas donde los niveles de robo eran altos. El hurto en las zonas que tenían la imagen del par de ojos se redujo en un 62% pero, a la vez, incrementó en un 65 % en las localidades donde las imágenes no fueron expuestas (Newcastle University Press Office, 2013). Recientemente, fue reportado otro caso en que carteles con una advertencia de la policía y la imagen de ojos observando redujo los robos en un 40% en Nottinghamshire, Inglaterra (Flanagan, 2013).

Gráfico 3: Resultados del experimento de la Universidad de Newcastle



Source: Bateson, Nettle & Roberts, 2006.

Un caso similar consiste en usar policías de cartulina para reducir los crímenes. Varias fuerzas de policía han empezado a invertir en réplicas de agentes debido a limitaciones en el presupuesto y personal reducido. En Bangalore, India, donde la velocidad de los vehículos estaban causando 2 muertes por día en promedio, las figuras fueron utilizadas con éxito para reducir las infracciones (Beary, 2013). En Boston, Massachusetts, una policía de cartulina fue ubicado en un parqueadero de bicicletas de una estación de metro y los robos se vieron reducidos en un 67% como resultado (Rafferty, 2013). En el Reino Unido se usan en tiendas para combatir los hurtos a establecimientos: el Departamento de Seguridad de la Comunidad de South Yorkshire, Inglaterra, reportó que, luego de instalar las réplicas de policías, la tasa de Criminalidad cayó en un 50% en ciertas tiendas del condado y en un 35% en los negocios a lo largo del país (South Yorkshire Police, 2012).

Colombia cuenta con su propio ejemplo: el ex alcalde de Bogotá, Antanas Mockus, se propuso promover la cultura cívica y logró disminuir los robos contra la propiedad privada en un 50% usando políticas poco ortodoxas. Algunas de estas políticas consistieron en contratar mimos o implementar el uso de “tarjetas civiles”: unas fichas que mostraban, por un lado, la imagen de un pulgar arriba, y por el otro, un pulgar abajo, para representar la aprobación o desaprobación de las acciones de los ciudadanos (Mizrahi, 2012).

Experimentos que utilizan estrategias suaves son llevados a cabo alrededor del mundo como un método innovador y económico para desalentar a los Criminales. Infortunadamente, el impacto de la mayoría de estos experimentos no se ha medido o estudiado adecuadamente; la mayoría de la evidencia que se tiene es puramente cualitativa o cuenta con poco soporte. Entre otros, estos experimentos incluyen:

- i.** Un artista callejero en Greenwich, Londres, pintó imágenes de bebés en los muros de ciertas tiendas, argumentando que, al ver rostros de bebés, el instinto de preservación y cuidado se disparaba en las personas (Gordon, 2012). El comportamiento antisocial fuera de las tiendas ha disminuido desde entonces (Borough, 2013).
- ii.** Poner música clásica en algunas estaciones de Londres, donde el crimen estaba llegando a niveles altos, redujo los robos en un 33% y el asalto a personas en un 25% (Ruhe, 2006).
- iii.** Usando la “alarma mosquito”, un dispositivo que emite un ruido de frecuencia muy alta que solo pueden escuchar las personas jóvenes, la policía de Merseyside, Londres, logró reducir los problemas causados por jóvenes de la zona (BBC, 2008).
- iv.** La ciudad de Hartford, Connecticut, decidió hacerle una amplia publicidad a su legislación con respecto al uso de celulares cuando se conduce. Las multas y

problemas por esta infracción se redujeron en un 75% (Transportation Alternatives, 2013).

### 3. El Juego

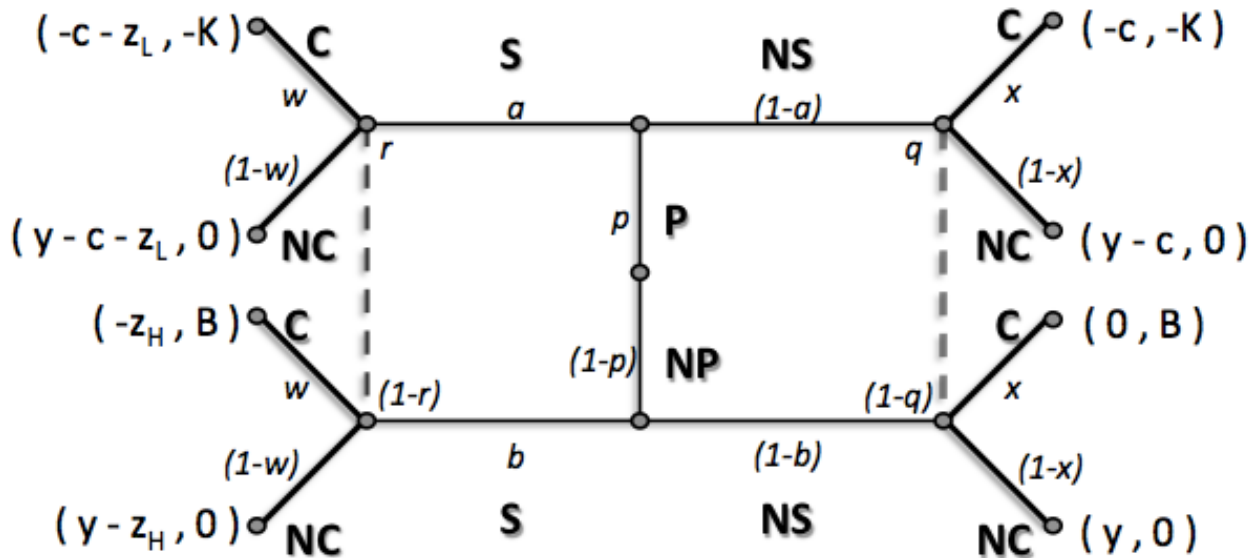
Considere un juego dinámico con información imperfecta donde la Autoridad y un Criminal se enfrentan. En la primera etapa, la Autoridad debe tomar dos decisiones. La primera es si asigna policía  $P$  o no  $NP$ , esta decisión no es observable por el Criminal. La segunda es si envía una señal  $S$  o no  $NS$  contingente en la existencia o no de policía, esta será nuestra estrategia débil y es observada por el Criminal. Asignar un policía tiene un costo  $c$ , mientras usar una señal tiene un costo bajo  $z_L$  si hay un policía y uno alto  $z_H$  cuando no lo haya. Ambos costos de la señal se asumen inferiores al costo de usar un policía,  $z_L < z_H < c$ . Por un lado, es natural asumir que las señales cuestan menos que los policías. Por otro lado, una señal es más costosa cuando no hay un apoyo presencial: la inversión puede ser mayor para que esta sea automática y no necesite de una persona que la administre.

En la segunda etapa el Criminal solo observa si existe una señal o no, actualiza sus creencias y decide si cometer el crimen,  $C$ , o no,  $NC$ . Si comete el crimen y había un policía, es arrestado y obtiene un pago de  $-K$ . Si comete el crimen y no hay policía, obtiene un pago de  $B$ . En ambos casos el pago para la Autoridad es 0. Si el Criminal decide no cometer el crimen obtiene un pago normalizado a 0, mientras la Autoridad obtiene un pago de  $y$ . En términos más formales tenemos el siguiente juego:

- Dos jugadores:  $i = \{\text{“Autoridad”}, \text{“Criminal”}\}$ .
- Estrategias de la Autoridad:
  - Elige  $P$  con probabilidad  $p$  y  $NP$  con probabilidad  $1 - p$ .

- Si Autoridad eligió  $P$ , elige  $S$  con probabilidad  $a$  y  $NS$  con probabilidad  $1 - a$ .
- Si Autoridad eligió  $NP$ , elige  $S$  con probabilidad  $b$  y  $NS$  con probabilidad  $1 - b$ .
- Estrategias de Criminal:
  - Si observa  $S$ , elige  $C$  con probabilidad  $w$  y  $NC$  con probabilidad  $1 - w$ .
  - Si observa  $NS$ , elige  $C$  con probabilidad  $x$  y  $NC$  con probabilidad  $1 - x$ .
- Creencias del Criminal  $r = Pr(P/S)$  y  $q = Pr(P/NS)$ .

En forma extensiva, el juego es el siguiente:



#### 4. Equilibrios

En esta sección exploramos los distintos equilibrios del juego propuesto. La noción apropiada en este caso es un Equilibrio Bayesiano Perfecto donde las creencias del Criminal se actualizan con regla de Bayes si es posible:

- $$r = \frac{ap}{ap + b(1-p)} \tag{1}$$

$$\blacksquare \quad q = \frac{(1-a)p}{(1-a)p+(1-b)(1-p)} \quad (2)$$

Para encontrarlos los dividiremos entre perfiles de estrategias separadores, agrupadores, híbridos y totalmente mixtos. El análisis formal de cada uno de esto se presenta en el apéndice. Primero considere el perfil de estrategias separador donde la señal se envía solo cuando se asigna un policía ( $P \rightarrow S / NP \rightarrow NS$ ). Este se convierte en un equilibrio únicamente cuando  $z_H > y$  y para evitar que  $NP$  quiera emitir una señal para simular ser  $P$  y evitar el crimen. Sin embargo, es improbable que esta condición se cumpla ya que el costo de enviar la señal debería ser mucho menor al beneficio obtenido. El segundo perfil separador donde la señal se envía cuando no hay policía ( $P \rightarrow NS / NP \rightarrow S$ ) tampoco es un equilibrio porque se requiere que  $-z_H > y$  y así evitar que  $NP$  no emita la señal para simular ser  $P$  y evitar el crimen. Sin embargo, esta condición no se cumple.

Los dos perfiles de estrategias agrupadores posibles son equilibrios válidos. En el primero, donde la señal se envía en todos los casos ( $P \rightarrow S / NP \rightarrow S$ ), es óptimo cuando  $y > z_H$  y  $p \geq \frac{B}{B+K}$  se cumplen. También es necesario que las creencias del Criminal fuera de la trayectoria del equilibrio sean  $\frac{B}{B+K} \geq q$ . En este equilibrio el Criminal no cometerá el crimen cuando vea la señal (y lo cometerá si no la ve) y la Autoridad tendrá una utilidad esperada de

$$U_A = y - pc - pz_L - z_H(1 - p)$$

Optimizando con respecto a  $p$ , tendríamos que  $p = \frac{B}{B+K}$ , es decir se contratarán el menor número de policías posible, donde dicho número es creciente en los beneficios para el Criminal

de cometer el crimen y decreciente en el costo de ser arrestado. Formalmente, este conjunto de equilibrios agrupadores está dado por:<sup>1</sup>

$$\left( p = \frac{B}{B+K}, a = 1, b = 1; w = 0, x = 1; r = \frac{B}{B+K}, q \leq \frac{B}{B+K} \right)$$

Para reducir este conjunto de equilibrios procedemos ahora a aplicar el criterio de divinidad (Banks y Sobel, 1987).<sup>2</sup> Según este criterio, primero se debe identificar el tipo de Autoridad que es más probable que se desvíe; es decir, aquel tipo que se desviaría con más acciones del Criminal. Si tenemos en cuenta que el Criminal puede jugar estrategias mixtas, la Autoridad que no eligió policía es aquella con mayor probabilidad que se desvíe pues la emisión de la señal es más costosa. Así que el único equilibrio agrupador que sobrevive de dicho conjunto es:

$$\left( p = \frac{B}{B+K}, a = 1, b = 1; w = 0, x = 1; r = \frac{B}{B+K}, q = 0 \right)$$

El segundo perfil de estrategias agrupador ( $P \rightarrow NS / NP \rightarrow NS$ ) consiste en el caso donde ambos tipos de Autoridad no emiten señales y el Criminal no comete el crimen si existe una probabilidad suficientemente alta de encontrar un policía,  $p \geq \frac{B}{B+K}$ . Este es un equilibrio para cualquier creencia fuera de la trayectoria del equilibrio pues los pagos de la trayectoria para cada tipo son los más altos posibles. En este caso la Autoridad recibe una utilidad esperada de  $U_A = y - pc$ . Optimizando con respecto a  $p$ , obtenemos que en el máximo  $p = \frac{B}{B+K}$ . Es claro que este

---

<sup>1</sup> Note que se define como un conjunto de equilibrios porque existe una variedad de creencias fuera de la trayectoria del equilibrio que lo implementan.

<sup>2</sup> El criterio intuitivo de Cho y Kreps (1987) no elimina ninguna creencia fuera de la trayectoria del equilibrio pues ambos tipos de Autoridad quisieran desviarse y no emitir una señal pues es costosa para ambos.



caso presenta un mejor escenario que el anterior ya que ahorra los costos de la señal. Formalmente, el segundo conjunto de equilibrios agrupadores está dado por:<sup>3</sup>

$$\left( p = \frac{B}{B+K}, a = 0, b = 0; w = 1, x = 0; r \in [0,1], q = \frac{B}{B+K} \right)$$

Tenemos cuatro posibles casos de perfiles de estrategias híbridos que analizaremos con más detalle. En primer lugar, considere el escenario en el que la Autoridad que eligió *NP* no envía la señal (*NS*); mientras que la Autoridad que asignó *P* aleatoriza. En este caso, cuando *S* se emite, el Criminal sabrá que esta lidiando con un policía, pues la única Autoridad que usa la señal es aquella que también usa policía. Por lo tanto, en este escenario, el Criminal escoge siempre *NC* si observa *S*. Esto significa que  $r=1$  y  $w=0$ . También necesitamos que la Autoridad que usa el policía sea indiferente entre enviar la señal o no:

$$U_A(S|P) = y - c - z_L = (-cx) + (y - c)(1 - x) = U_A(NS|P)$$

De lo cual obtenemos:

$$x = \frac{z_L}{y}$$

Así que para que la Autoridad con policía sea indiferente, el Criminal debe cometer crimen cuando no observa la señal con una probabilidad pequeña, decreciente en  $y$  y creciente en  $z_L$ . Ahora, dado que los Criminales aleatorizan cuando observan *NS*, deben ser indiferentes entre *C* y *NC*.

$$U_C(NC|NS) = 0 = B(1 - q) - Kq = U_C(C|NS)$$

---

<sup>3</sup> Cada equilibrio en este conjunto sobrevive el criterio intuitivo y el criterio divino pues ningún tipo de Autoridad consigue un pago mayor desviándose.

Con lo cual obtenemos:

$$q = \frac{B}{B + K}$$

Teniendo en cuenta la ecuación (2) y que  $b=0$  para este caso, sabemos que es necesario que se cumpla:  $\frac{(1-a)p}{(1-a)p+(1-p)} = \frac{B}{K+B}$ . Resolviendo para  $a$ , tenemos que  $a = 1 + \frac{B(p-1)}{Kp} \geq 0$ , lo cual requiere que  $p \geq \frac{B}{B+K}$ . La intuición detrás de este resultado es que  $p$  debe ser lo suficientemente alto para que sea creíble que el Criminal pueda ser arrestado si comete el delito. Más aún, entre más policía haya, mayor es la necesidad de enviar una señal para que la creencia de la existencia de un policía cuando no se observa la señal se mantenga.

La utilidad de la Autoridad que no usa policía es  $U_A(NP) = (1 - x)y = y - z_L$ , mientras la utilidad de la Autoridad que usa policía es  $U_A(P) = y - c - z_L$ . Así que la Autoridad recibe una utilidad esperada de  $U_A = y - pc - z_L$ . Se puede ver que esta utilidad es un poco más baja que la del mejor equilibrio agrupador, ya que en este caso ocasionalmente se incurre en el costo de la señal cuando hay un policía presente y existe una probabilidad (pequeña) de que se cometa un crimen.

Una vez más,  $p = \frac{B}{B+K}$  resulta ser el  $p$  óptimo que maximiza la utilidad de la Autoridad. Según las condiciones de este equilibrio, dicho  $p$  óptimo haría que  $a = 0$  y esto, a su vez, significaría que en su nivel óptimo la Autoridad que usa policía nunca enviaría señales. Por lo tanto, la estrategia de equilibrio de la Autoridad es igual a la del segundo equilibrio agrupador donde  $P$  y  $NP$  nunca envían señales. Sin embargo, aquí la creencia fuera de la trayectoria del equilibrio  $r = 1$ , se puede encontrar como un límite de las creencias actualizadas con la regla de Bayes cuando  $a$  es positivo y tiende a 0. En este sentido, lo convierte en un equilibrio más robusto. Note además que dicha creencia en este equilibrio híbrido es opuesta a lo que el

equilibrio agrupador necesita. Más aún, la estrategia del Criminal es distinta pues comete crimen en una baja proporción cuando no observa la señal. Formalmente este equilibrio híbrido está dado por:

$$\left( p = \frac{B}{B + K}, a = 0, b = 0; w = 0, x = \frac{z_L}{y}; r = 1, q = \frac{B}{B + K} \right)$$

El segundo perfil de estrategias híbrida, donde la Autoridad que escoge  $NP$  siempre envía la señal, mientras que la Autoridad que eligió  $P$  aleatoriza, no es un equilibrio porque la Autoridad que eligió  $P$  siempre querrá desviarse a no incurrir en el costo de la señal porque allí es donde no se cometen crímenes (el procedimiento completo puede encontrarse en el Apéndice III).

Considere ahora un tercer perfil de estrategias híbrido donde la Autoridad que aleatoriza su acción es aquella que no utiliza policía, mientras que la Autoridad que elige  $P$  decide enviar la señal. En este caso, cuando  $NS$  se usa, el Criminal sabrá que esta en una situación donde no hay policía. Por lo tanto, en este escenario, el Criminal escoge siempre  $C$  si observa  $NS$ . Esto significa que  $q = 0$  y  $x = 1$ . Como Autoridad que elige  $NP$  aleatoriza, necesitamos que sea indiferente entre enviar la señal o no:

$$U_A(S|NP) = -z_H w + (y - z_H)(1 - w) = 0 = U_A(NS|NP)$$

$$w = \frac{y - z_H}{y}$$

Por lo tanto, necesitamos que el Criminal cometa el crimen con una probabilidad muy alta cuando observa la señal. Ahora, ya que lo Criminales aleatorizan cuando observan  $S$ , deben ser indiferentes entre  $NC$  y  $C$ :

$$U(NC|S) = 0 = B(1 - r) - Kr = U(C|S)$$

$$r = \frac{B}{B + K}$$

Teniendo en cuenta la ecuación (1) y que  $a = I$  para este caso, sabemos que es necesario que se cumpla:  $\frac{p}{p+b(1-p)} = \frac{B}{K+B}$ . Resolviendo para  $b$ , tenemos que  $\frac{pK}{B(1-p)} = b$ . Para que el modelo funcione, se requiere que  $b$  este entre 0 y 1; tal cosa sucede cuando  $p \leq \frac{B}{B+K}$ . Es decir, debe haber una probabilidad baja de que haya un policía para que este quiera mantener una probabilidad alta de cometer un crimen cuando observa la señal.

La utilidad de la Autoridad que usa policía es:

$$U_A(P) = (-c - z_L)w + (y - c - z_L)(1 - w) = z_H - c - z_L$$

Note que el beneficio esperado de una Autoridad que eligió policía y enviar una señal es negativo porque se comete crimen con una probabilidad muy alta y se incurren en costos de asignar el policía y emitir la señal. Sin embargo, si fuera a desviarse la utilidad sería de  $-c$  porque siempre hay crimen cuando no se emite una señal, así que no tiene incentivos a desviarse. Por su parte, la utilidad de una Autoridad que eligió  $NP$  es  $U_A(NP) = 0$  sin importar si envía o no señal. Por lo tanto, la utilidad esperada total de la Autoridad de este segundo equilibrio híbrido es  $U_A = p(z_H - z_L - c)$ .

Es evidente que la Autoridad elegiría  $p = 0$  para optimizar su utilidad, ya que los beneficios de asignar un policía son negativos. Este  $p$  óptimo haría que  $b = 0$  y esto, a su vez, significaría que en su nivel óptimo la Autoridad que no usa policía nunca enviaría señales. Por lo tanto en la trayectoria del equilibrio siempre habrá crimen. Note que esto se asemeja a un equilibrio separador; sin embargo, dado que nunca hay policía, las creencias fuera de la trayectoria del equilibrio son determinadas de nuevo como límites de las creencias actualizadas

por regla de Bayes cuando la probabilidad de tener un policía converge a 0. Formalmente tenemos:

$$\left( p = 0, a = 1, b = 0; w = \frac{y - z_H}{y}, x = 1; r = \frac{B}{B + K}, q = 0 \right)$$

El cuarto caso es donde la Autoridad que escoge  $P$  nunca envía una señal mientras que aquella que eligió  $NP$  aleatoriza. Esta estrategia nunca es un equilibrio porque la Autoridad que eligió  $NP$  se quisiera desviar hacia  $NS$  porque allí nunca se comete crimen (el procedimiento completo puede encontrarse en el Apéndice IV). Por último, el último caso posible es un perfil de estrategias completamente mixto donde la Autoridad aleatoriza su asignación de policías y señales. Sin embargo aquí la Autoridad  $P$  siempre se querrá desviar hacia la acción que no genere crimen.

Para resumir existen 4 tipos de equilibrios del juego analizado. Un agrupador donde ambos tipos de Autoridades emiten una señal y el Criminal no comete crimen cuando observa la señal y lo comete si no observa la señal. Otro agrupador, más eficiente que el anterior, donde ambos tipos de Autoridades no emiten señal y el Criminal no comete crimen si no observa la señal. Este último es el que genera una utilidad más alta para la Autoridad.

El tercer equilibrio consiste en el caso donde se requiere la misma cantidad de policías y se usan señales aleatoriamente cuando hay presencia de policía. En este caso las señales llevan a que no haya crimen, mientras la ausencia de señales genera crimen en una baja proporción. En este escenario, la ausencia de la señal le genera incertidumbre a los Criminales pues no sabrían si se enfrentan a un policía o no. Esta incertidumbre es lo que podría hacer a la señal una estrategia poderosa para prevenir el crimen. Más aún, este equilibrio permite moldear las creencias fuera de la trayectoria del equilibrio de una manera racional. En otras palabras, puede interpretarse como

una primera etapa en una sociedad acostumbrada al crimen para ir reduciéndolo y terminar en el escenario descrito del segundo equilibrio.

El cuarto y último equilibrio es el menos deseable. En este la Autoridad con policía decide enviar siempre la señal mientras la Autoridad sin policía aleatoriza el uso de la señal. En el óptimo no existe policía pues los Criminales siempre tienen incentivos a cometer el crimen. Esto se da porque la ausencia de señales genera crimen, mientras las señales generan crimen en una alta proporción para que la Autoridad sin policía se mantenga indiferente entre usar o no las señales.

## **5. Conclusiones:**

Este trabajo propone un modelo en el que una estrategia basada en la información contribuye a disminuir la Criminalidad. El modelo propuesto es un juego dinámico de información asimétrica entre la Autoridad y un Criminal. Mientras la Autoridad elige primero si asignar o no un policía a una zona y si enviar o no una señal contingente a la presencia o no de un policía, el Criminal únicamente observa si existe o una señal y decide si delinque o no.

El juego tiene 4 equilibrios, dos de los cuales son deseables para la Autoridad. En el primer equilibrio deseable no existen señales en ningún caso ni tampoco crimen. En el segundo equilibrio la Autoridad que asignó un policía aleatoriza el envío de la señal, mientras la Autoridad que no asignó policía nunca envía una señal. En este caso los Criminales se abstienen de cometer el crimen si observan la señal y cometen crimen con una baja probabilidad (creciente en el costo de la señal) si no observan la señal dada la incertidumbre que enfrentan.

Mientras el primer equilibrio es el más eficiente, puede ser solo aplicable a sociedades desarrolladas que han mantenido un bajo crimen a lo largo del tiempo, donde las creencias de la sociedad permiten mantener estable este equilibrio. Sin embargo, el segundo equilibrio puede tomarse como una transición para países con crimen hacia dicho equilibrio más eficiente. Las

señales en este caso juegan el rol de determinar las creencias y en el límite dicha estrategia converge a la más eficiente.

Estos hallazgos permiten pensar en estrategias complementarias a aquellas que hacen uso de la fuerza y la represión para combatir el crimen. Analizar desde una perspectiva económica cómo las personas se comportan frente a ciertos estímulos puede ofrecer soluciones diferentes y menos costosas a las que se emplean actualmente, complementándolas y obteniendo resultados más efectivos de los que se obtienen hoy en día.

## **6. Bibliografía:**

Arias, M.A; Camacho, A; Ibañez, A.M; Mejia, D; Rodriguez, C. (2014) *Costos Económicos y Sociales del conflicto en Colombia: ¿Cómo Construir un Posconflicto Sostenible?* Universidad de los Andes.

Banks, JS., Sobel, J. (1987) "Equilibrium Selection in Signaling "Games" *Econometrica* 55(3): 647-661.

Bateson, M., Nettle, D., & Roberts, G. (2006). Cues of being watched enhance cooperation in a real-world setting. *Biology Letters* , 412-414.

BBC. (26 de Junio de 2008). High-pitch alarm quietens youths. *BBC News* .

Beary, H. (25 de Marzo de 2013). India cardboard traffic police to deter violators. *BBC News* .

Borough, T. B. (2013). Case Studies. Retrieved 21 de Enero de 2016 from Ogilvy Change: <http://www.ogilvychange.com/casestudies/>

Cho, I, Kreps, D. (1987) "Signaling Games and Stable Equilibria" *Quarterly Journal of Economics* 102(2): 179-221.

Dankova, I. (2012). Blue Lights for Safety. In CPTED, CPTED Perspective. Calgary: International CPTED Association Newsletter.

Flanagan, P. (2 de Junio de 2013). Crime... the answer's staring you in the face: The striking new police poster that has slashed thefts by up to 40 per cent. Daily Mail UK .

Gordon, D. (29 de Agosto de 2012). Could babies' faces reduce crime? BBC News .

Grohol, J. M. (2008). Can Blue-Colored Light Prevent Suicide? Retrieved 21 de January de 2016 from PsychCentral.

Mizrahi, D. (27 de Noviembre de 2012). Bogotá, la ciudad que redujo el crimen con mimos. Infobae .

Newcastle University Press Office. (2013). Watching eyes reduce bike theft.

Rafferty, A. (6 de Agosto de 2013). Cardboard cop fighting bike theft in Boston. NBC News .

Ruhe, P. (6 de Septiembre de 2006). Classical music said to increase spending and deter crime. Chicago Tribune .

Shimbun, T. Y. (11 de Diciembre de 2008). Blue streetlights believed to prevent suicides, street crime. The Seattle Times .

South Yorkshire Police. (2012). Cardboard Images of Police Officers. South Yorkshire.

Transportation Alternatives. (2013). Proven Tactics, Better Enforcement. New York City.

Watanabe, Y. (2011). A Study on the Effect of Blue Light Illumination upon Smoking Behavior. Kanagawa University.

Welsh, B. P., & Farrington, D. C. (2008). Effects of Improved Street Lighting on Crime. The Campbell Collaboration. Campbell Systematic Reviews.



## APÉNDICE

### **Apéndice I. Procedimiento para los equilibrios separadores.**

Separador 1 (P→S / NP→NS):

**t=2:**

$$S \begin{cases} E(C|S) = -K \\ E(NC|S) = 0 \end{cases} \quad NS \begin{cases} E(C|NS) = B \\ E(NC|NS) = 0 \end{cases}$$

El Criminal escoge *NC* si *S* y *C* si *NS*.

**t=1:**

La utilidad de la Autoridad que escoge *P* es:

$$U(S|P) = y - c - z_L \quad U(NS|P) = -c$$

Esta Autoridad enviará la señal cuando  $y > z_L$ .

La utilidad de la Autoridad que escoge *NP* es:

$$U(S|NP) = y - z_H \quad U(NS|NP) = 0$$

Esta Autoridad no enviará la señal cuando  $z_H > y$ , lo cual no se cumple.

Separador 2 (P→NS / NP→S):

**t=2:**

$$S \begin{cases} E(C|S) = B \\ E(NC|S) = 0 \end{cases} \quad NS \begin{cases} E(C|NS) = -K \\ E(NC|NS) = 0 \end{cases}$$

El Criminal escoge *C* si *S* y *NC* si *NS*.

**t=1:**

La utilidad de la Autoridad que escoge *P* es:

$$U(S|P) = -c - z_L \quad U(NS|P) = y - c$$

Esta Autoridad no enviará la señal cuando  $y > -z_L$ .

La utilidad de la Autoridad que escoge  $NP$  es:

$$U(S|NP) = -z_H \quad U(NS|NP) = y$$

Esta Autoridad enviará la señal cuando  $-z_H > y$ , lo cual no se cumple.

## **Apéndice II. Procedimiento para los equilibrios agrupadores.**

Agrupador 1 (P→S / NP→S):

**t=2:**

En la trayectoria del equilibrio:

$$E(C|S) = r(-K) + (1 - r)B$$

$$E(NC|S) = 0$$

Fuera de la trayectoria del equilibrio tenemos:

$$E(C|NS) = q(-K) + (1 - q)B$$

$$E(NC|NS) = 0$$

Necesitamos dos condiciones para que este sea un equilibrio:

1.  $S$  debe conllevar a  $NC$ . Esto significa que el Criminal debe creer que  $S$  implica que

haya un policía con una probabilidad suficientemente grande, es decir:  $\frac{B}{B+K} \leq r$ .

2.  $NS$  debe conllevar a  $C$ . Las creencias del Criminal fuera del equilibrio deben ser:

$$\frac{B}{B+K} \geq q.$$

**t=1:**

La utilidad de la Autoridad si escoge  $P$  es:

$$U(S|P) = y - c - z_L \quad U(NS|P) = -c$$

Esta Autoridad enviará la señal cuando  $y > z_L$ .

La utilidad de la Autoridad si escoge  $NP$  es:

$$U(S|NP) = y - z_H \quad U(NS|NP) = 0$$

Esta Autoridad enviará la señal cuando  $y > z_H$ .

Agrupador 2 (P→NS / NP→NS):

**t=2:**

En la trayectoria del equilibrio, la utilidad del Criminal es:

$$E(C|NS) = q(-K) + (1 - q)B$$

$$E(NC|NS) = 0$$

Fuera de la trayectoria tenemos:

$$E(C|S) = r(-K) + (1 - r)B$$

$$E(NC|S) = 0$$

$NS$  debe conllevar a  $NC$  para que la Autoridad no se quiera desviar, para esto se necesita:

$$\frac{B}{B+K} \leq q.$$

**t=1:**

La utilidad de la Autoridad si escoge  $P$  y elige  $NS$  es:

$$U(NS|P) = y - c$$

La utilidad de la Autoridad si escoge  $NP$  y elige  $NS$  es:

$$U(NS|NP) = y$$

Como estas utilidades son mayores que cualquier utilidad posible si eligiera  $S$ , sin importar si el Criminal comete crimen o no, entonces la creencia  $r$  fuera de la trayectoria del equilibrio no tiene ninguna restricción.

**Apéndice III. Procedimiento para el segundo caso de equilibrio híbrido.**

$$NP \rightarrow S \quad P \begin{cases} S \rightarrow a \\ NS \rightarrow (1-a) \end{cases}$$

En este caso, cuando  $NS$  se usa, el Criminal sabrá que esta lidiando con un policía, pues la única Autoridad que no usa la señal es aquella que también usa policía. Por lo tanto, en este escenario, el Criminal escoge siempre  $NC$  si observa  $NS$ . Esto significa que  $q = 1$  y  $x = 0$ . También necesitamos que la Autoridad que usa  $P$  sea indiferente entre enviar la señal o no:

$$U(S|P) = (-c - z_L)w + (y - c - z_L)(1 - w) = y - c = U(NS|P)$$

$$w = -\frac{z_L}{y}$$

Esto no es posible pues sabemos que el valor mínimo que  $w$  puede tener es  $0$ .

**Apéndice IV. Procedimiento para el cuarto caso de equilibrio híbrido.**

$$P \rightarrow NS \quad NP \begin{cases} S \rightarrow b \\ NS \rightarrow (1-b) \end{cases}$$

En este caso, cuando  $S$  se usa, el Criminal sabrá que está en una situación donde no hay policía, ya que la única Autoridad que usa  $S$  es aquella que no lo usa. Por lo tanto, en este escenario, el Criminal escoge siempre  $C$  si observa  $S$ . Esto significa que  $r = 0$  y  $w = 1$ . También necesitamos que la Autoridad que usa  $NP$  sea indiferente entre enviar la señal o no:

$$U(S|NP) = -z_H = y(1 - x) = U(NS|NP)$$

$$x = \frac{y + z_H}{y}$$

Esto no es posible pues sabemos que el valor máximo de  $x$  es  $1$ .