EL COLEGIO DE MÉXICO
CENTRO DE ESTUDIOS ECONÓMICOS

# MAESTRÍA EN ECONOMÍA

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN ECONOMÍA

## "EL TORITO": UNA APLICACIÓN DE SANCIONES NO MONETARIAS

**ARELI RAQUEL PÁEZ MARTÍNEZ**

**PROMOCIÓN 2020-2022**

**ASESOR:**

**DR. JULEN BERASALUCE IZA**

AGOSTO 2022

# Agradecimientos

Al Colegio de México por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y darme las herramientas necesarias para la conclusión del mismo.

A mi asesor, el Dr. Julen Berasaluce por apoyarme, guiarme y ayudarme a ver la luz al final del túnel.

A mis profesores, en especial a la Dra. Adriana Gama por su apoyo y confianza.

A mis padres, Juanita y Milito, que siempre me han apoyado en todas mis decisiones y que son mi mayor fuente de inspiración. A mis hermanos que me apoyaron y confiaron en mí en todo momento. No puedo dejar de lado a Chuy, Frida y Cachorro que sin entender que sucedía me acompañaron en las desveladas.

A mis amigos de maestría que hicieron más placentera esta etapa, donde sin duda se creó una gran amistad.

# Resumen

En el presente documento se caracteriza la interacción del gobierno y los conductores en el proceso de imponer sanciones monetarias y no monetarias en el Programa Nacional de Alcoholimetría utilizando Teoría de Juegos. El juego se desarrolla en tres etapas con dos jugadores: el gobierno y los conductores. En la primera etapa el gobierno decide el esfuerzo, sanción monetaria y sanción no monetaria, esta última interpretada como el arresto del conductor. En la segunda etapa los conductores realizan una elección dicotómica entre manejar y no manejar. La última etapa se refiere a la imposición de la sanción.

El juego se soluciona considerando información simétrica y asimétrica sobre el ingreso de los conductores. En el primer caso, cuando el gobierno conoce el ingreso, lo óptimo es imponer una sanción monetaria. Por otro lado, la solución con información asimétrica, es decir, cuando el gobierno no observa el ingreso de los conductores, imponer una sanción no monetaria se vuelve relevante, por lo que opta por una combinación de ambas, dependiendo de las condiciones.

# Índice

**1. Introducción** **2**

**2. Revisión de Literatura** **4**

**3. Modelo** **8**

3.1. Gobierno . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 8

3.2. Conductor . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 9

3.3. Etapas . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 11

3.4. Solución . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 11

3.4.1. Información simétrica . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 12

3.4.2. Información asimétrica . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 18

**4. Conclusiones** **27**

**5. Anexo** **29**

**Referencias** **31**

# 1. Introducción

El programa “Conduce Sin Alcohol” comenzó como un programa de la Secretaría de Seguridad Pública del Distrito Federal (SSP-DF) en septiembre de 2003. De acuerdo con el Protocolo para la Implementación de Puntos de Control de Alcoholimetría, su objetivo es prevenir los accidentes ocasionados por el consumo de alcohol.

El programa consiste en colocar operativos en puntos estratégicos de la ciudad para aplicar una prueba de alcoholemia con ayuda de un alcoholímetro que mide el alcohol en sangre por medio del aliento del conductor. Si el conductor rebasa la cantidad de alcohol permitida es sujeto a una sanción.

Posterior a la implementación en la CDMX (antes Distrito Federal), como parte del Programa de Seguridad Vial, el Consejo Nacional de Prevención de Accidentes (CONAPRA) implementó el Programa Nacional de Alcoholimetría en 2009, iniciando en los municipios con mayor índice de mortalidad, en coordinación con los Consejos Estatales para la Prevención de Accidentes (COEPRA)

Actualmente el programa es vigilado por el Secretariado Técnico del Consejo Nacional para la Prevención de Accidentes (STCONAPRA) y actualmente se conoce como Acción Estratégica de Alcoholimetría. De acuerdo con el Informe de Situación Vial 2019, al cierre de 2019 se han implementado puntos de control de alcoholimetría en las 32 entidades federativas.

Si el conductor excede el límite de alcohol permitido, es sujeto a una sanción que va a variar por estado y en algunas ocasiones por municipio debido a que el Secretariado Técnico no tiene la facultad de establecer las sanciones en cada entidad federativa. Algunas de las sanciones son multas monetarias, arrastre de autos, horas de servicio comunitario y arresto del conductor, entre otros.

En Aguascalientes en la primera detención el conductor es acreedor a una sanción monetaria que va de los 10 a 20 UMA[1]; si el conductor reincide es acreedor a un arresto de 36 horas. Zacatecas

1. Unidad de Medida y Actualización, de acuerdo con INEGI es una referencia económica en pesos para determinar la cuantía del pago de las obligaciones y supuestos previstos en las leyes federales.

impone una sanción monetaria que varía de acuerdo al nivel de estado de ebriedad del conductor, la sanción va de 60 a 120 UMA.

En la CDMX, la sanción consiste en una penalización de 6 puntos en la licencia de conducir, el vehículo es remitido al depósito vehicular y un arresto inconmutable de 20 a 36 horas; los conductores son detenidos en el Centro de Sanciones Administrativas y de Integración Social conocido popularmente como "El Torito", al que le debemos el título del presente documento.

Ante la combinación de las sanciones monetarias y no monetarias, en especial el arresto, surge el interés por conocer las condiciones por las que la autoridad decide imponer sanciones monetarias, sanciones no monetarias o una combinación de ambas. Las sanciones monetarias representan un costo para los conductores y un ingreso para el gobierno. Por otro lado, las sanciones no monetarias representan un costo para el conductor y el gobierno.

La motivación de este documento surge de conocer la interacción que existe entre el gobierno y los conductores en el proceso de imponer una sanción. Además de conocer las características de los conductores que hacen que el gobierno imponga una sanción monetaria, no monetaria o una combinación.

Para caracterizar esta interacción se va a utilizar Teoría de juegos para plantear un juego de tres etapas con dos jugadores. La solución se realiza bajo el supuesto de información simétrica y asimétrica sobre el ingreso de los conductores, bajo la hipótesis de que puede resultar un factor determinante en la selección entre sanciones monetarias y no monetarias.

El documento está dividido de la siguiente manera: en la Sección 2 se realiza una revisión de literatura relacionada; en la Sección 3 se realiza la descripción del modelo donde se incluyen las características de los jugadores, las etapas del juego y la solución para los casos de información simétrica y asimétrica; finalmente, en la Sección 4 se presentan las conclusiones.

# 2. Revisión de Literatura

El uso de sanciones monetarias y no monetarias varía de acuerdo a la política que se implementa, la población, los intereses del gobierno entre otras características. De acuerdo con D'Antoni y Galbiati (2007) el uso de sanciones no monetarias no necesariamente se implementan cuando las sanciones monetarias se han utilizado en su máximo. Los autores desarrollan una teoría de señalización para sanciones no monetarias bajo el supuesto de que la autoridad está mejor informada que los individuos, por lo que si los individuos no están seguros de que la autoridad se encuentra maximizando el bienestar, un aumento de sanciones monetarias puede ser relacionado con la intención de aumentar los ingresos.

Además, D'Antoni y Galbiati (2007) argumentan que las sanciones monetarias y no monetarias no son sustitutos perfectos, no solo por los costos diferentes, sino también por el mensaje que reciben los individuos. Por ejemplo una sanción no monetaria que informe de los riesgos de infringir la ley puede ayudar a modificar la percepción de los individuos ante los riesgos asociados. Finalmente concluyen que el argumento del uso de sanciones no monetarias cuando las sanciones monetarias alcanzan su óptimo no se sostiene cuando se considera el poder de señalización de las diferentes sanciones. En contraste, en este documento se considera que las sanciones monetarias y no monetarias afectan el ingreso del individuo, estas se diferencian por los costos que generan al gobierno y la diferenciación en el impacto dependiendo del ingreso del conductor.

Polinsky (2006) estudia el uso óptimo de multas y encarcelamiento cuando el ingreso no es observado. Supone dos niveles de ingreso (alto y bajo), para establecer una combinación de multas monetarias y encarcelamiento. Propone tres tipos de sanciones considerando el costo de encarcelamiento, si el costo es bajo es óptimo imponer una multa monetaria junto con una sanción de encarcelamiento; si el costo es alto es óptimo imponer solo multas monetarias; finalmente describe un caso intermedio donde los individuos que tienen la posibilidad de pagar la multa monetaria no se enfrenten a una sanción de encarcelamiento.

Bajo el supuesto de ingreso no observable, Polinsky (2006) concluye que la mejor opción es imponer una sanción monetaria alta y aquellos individuos que no tengan la posibilidad de pagar se enfrenten a una sanción de encarcelamiento, con el fin de que los individuos de ingreso alto paguen la sanción monetaria y los de ingreso bajo se enfrenten a un encarcelamiento. Menciona que bajo ingresos observables el uso de una sanción no monetaria que implique encarcelamiento no va a ser necesaria, pues esta última implica costos para la autoridad, de manera similar se aborda este caso en la solución con información simétrica del modelo propuesto en este documento.

Uno de los objetivos de imponer una sanción es disuadir el incumplimiento de una ley, Rizzolli y Tremewan (2018) realizan un experimento para explorar el impacto de diferentes combinaciones de sanciones y la severidad del procedimiento de juzgar el delito en la disminución de robos. Muestran que los robos se reducen de manera más significativa cuando se utiliza una sanción no monetaria en conjunto con un procedimiento legal indulgente. Sus resultados muestran que cuando se cambian sanciones monetarias por sanciones no monetarias equivalentes en monto, se transmite un mensaje diferente a los individuos, generando una mayor desmotivación a infringir la ley. Este último resultado es consistente con la teoría propuesta por D'Antoni y Galbiati (2007).

Con el objetivo de disminuir los accidentes de tránsito, varios países han optado por implementar un sistema de penalización de puntos. Si bien, este es un tipo de sanción no monetaria, el efecto en el conductor es diferente. El sistema de puntos consiste en dar una cantidad limitada de puntos a los conductores. Cuando se comete una infracción de tránsito se les reducen puntos, mientras mayor sea la falta mayor los puntos castigados. Al perder los puntos su licencia de conducir es retirada.

Basili, Belloc y Nicita (2015) explora el sistema de puntos en Italia. Sugieren que la razón de una sanción como el sistema de puntos es disuadir a un grupo especifico de individuos. Plantean un modelo teórico donde caracterizan tres tipos de agentes dependiendo su nivel de disuasión, agentes disuadidos, parcialmente disuadidos y no disuadidos. Argumentan que el efecto de sanciones híbridas depende de la distribución de las preferencias. Finalmente realizan un análisis econométrico con datos de 50,000 conductores del periodo de julio de 2003 a mayo de 2009. Muestran que la probabilidad de cometer infracciones disminuye a medida que disminuye la cantidad de puntos de los conductores. Aseguran que un sistema de puntos es mas eficiente que una sanción monetaria, pues induce a un determinado nivel de incumplimiento.

España es otro país que ha optado por implementar un sistema de puntos. Castillo-Manzano y col. (2019) analizan el cambio en la ley de tránsito de España. Este cambio incorpora una licencia basada en puntos y un código penal más riguroso. Se auxilian de un modelo econométrico para concluir que este cambio tiene un efecto positivo en la disminución de accidentes de tránsito. Los resultados confirman sus planteamientos teóricos acerca de que una sanción híbrida actúa como un mecanismo de autoselección para los individuos, además de que un buen diseño en general, puede aumentar la disuasión.

Al enfrentarse a una posible suspensión de la licencia de conducir, los individuos cuentan con una disposición a pagar. Jøgensen y Wentzel-Larsen (2002) exploran esta disposición mediante un análisis teórico y empírico. Se le preguntó a conductores noruegos el monto que estaban dispuestos a pagar para no perder la licencia. Como resultado de esta encuesta encontraron que la suspensión afecta de manera diferente a los conductores. Por ejemplo los conductores de género masculino se ven mas desalentados a infringir leyes de tránsito que que conductores de género femenino. Una conclusión importante de Jøgensen y Wentzel-Larsen (2002) es que la disposición a pagar incrementa con el nivel de ingreso. Sin embargo, esto no implica que los conductores con mayor riqueza estén más desalentados que los conductores con ingreso bajo.

En este documento tomamos como referente el Programa Nacional de Alcoholimetría, cuyo objetivo principal es disminuir los accidentes relacionados con la ingesta de alcohol. Abu-Zidan y Eid (2015) estudian los factores que afectan la severidad de los accidentes de tránsito, como la edad, género, alcohol en el conductor, uso de cinturón de seguridad, entre otros. Utilizan un modelo lineal general (GLM); como variable dependiente consideran la gravedad de los accidentes para ver el impacto de los diferentes factores. A pesar de encontrar que los principales factores que afectan la gravedad de las lesiones son la edad, la velocidad del vehículo y el mecanismo de colisión, hallan que los conductores bajo el influjo del alcohol o drogas, tienen una mayor puntuación de gravedad de la lesión.

Por otro lado, Gill y col. (2020) realizan un estudio para conocer la relación entre el alcohol, el número de lesiones y muertes por accidentes en Estados Unidos. Utilizan información de 2014 a 2018 del *National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)*. Concluyen que los accidentes bajo los efectos del alcohol resultan en una mayor cantidad de muertes que lesiones; es decir, conducir bajo los influjos del alcohol aumenta la morbilidad y mortalidad.

Por las implicaciones sociales y económicas de las consecuencias de los accidentes de tránsito relacionados con el consumo de alcohol, es de interés estudiar las políticas que ayuden a la reducción de dichos accidentes.

Ruhm (1996) estudia el impacto en el aumento de los impuestos en la cerveza y los controles policiacos en los accidentes de tránsito. Utiliza datos de estados contiguos de Estados Unidos de 1982 a 1988 y encuentra que el precio del alcohol y los impuestos a la cerveza están correlacionados negativamente con los accidentes mortales.

En México, a pesar de que el Programa Nacional de Alcoholimetría ya tiene varios años implementado, no hay una literatura amplia acerca del tema, en especial de las sanciones implementadas. En el año 2003 se implementó un precedente del Programa Nacional de Alcoholimetría, el programa Conduce sin Alcohol, que comenzó en la Ciudad de México. Colchero y col. (2020) utiliza un método de series de tiempo para estimar el efecto en la tasa mensual de muertes por accidentes de tránsito con datos de 1998 a 2016. Como resultado encuentran que el programa redujo 23.2 % la tasa de mortalidad relacionada con accidentes de tránsito.

Un estudio más general del Programa es el realizado por Buendía Muñoz (2013) donde utiliza el enfoque generalizado de diferencias en diferencia, controlando por efectos fijos a nivel municipio y tiempo. Como datos se utiliza la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición para 2006 y 2012. Buendía encuentra que el programa tuvo un impacto negativo sobre los accidentes de tránsito de 0.14 % durante los primeros 2 años de implementación.

Dentro de la literatura existen diferentes documentos que consideran las sanciones no monetarias en el cumplimiento del reglamento de tránsito, en especial el sistema de puntos. Sin embargo, en la literatura revisada no se encontró un estudio que valué la prisión temporal como sanción inconmutable ante una falta de tránsito. Este documento pretende plasmar en un modelo teórico la interacción entre el gobierno y los conductores, en el establecimiento de sanciones monetarias y no monetarias. Se caracteriza la sustituibilidad y, en consecuencia, la deseabilidad en función de sus costos y de un efecto sobre los incentivos de los diferentes tipos de sanciones.

# 3. Modelo

El objetivo del Programa Nacional de Alcoholimetría es disminuir el número de accidentes de tránsito relacionado con el consumo de alcohol, recordemos que el alcohol es un factor de riesgo que afecta la cantidad y gravedad de los accidentes de tránsito. En esta sección se plantea un modelo utilizando Teoría de Juegos para plasmar el Programa Nacional de Alcoholímetro. El modelo cuenta con dos jugadores, el gobierno representado por el jugador 1 y el ciudadano representado por el jugador 2.

## 3.1. Gobierno

El Gobierno va a ser el agente responsable de implementar el programa y establecer las sanciones que se aplicarán. El objetivo del gobierno es la disminución de accidentes, la función objetivo a solucionar es:

$$\text{mín}\,\gamma \text{ s.a. } C_f + C_v(\delta, \xi) \leq R \tag{1}$$

Donde:

- $\gamma$= Media de accidentes donde se involucre un conductor en estado de ebriedad.
- R= Recursos monetarios destinados al Programa Nacional de Alcoholimetría
- $C_f$= Costo fijo asociado a las sanciones no monetarias del programa, por ejemplo el mantenimiento de un Centro de Sanciones Administrativas, $C_f \geq 0$. Los costos fijos van a ser menores que los Recursos monetarios $R$, es decir, $R > C_f$.
- $C_v$= Costo variable del programa asociado que va a depender de dos variables, $\delta$ la cantidad de conductores detenidos y $\xi$ el esfuerzo del gobierno, para la primer variable se contemplan las sanciones monetarias con las multas recibidas que son un ingreso $m$ para el gobierno, como parte de las sanciones no monetarias se incluyen los costos que se generan por conductor detenido que va a depender del grado de sanción del gobierno $\eta$, pues mientras más

días se considere para el arresto, mayor será el costo por sanción no monetaria ($c(\eta)\delta$). Si los conductores no tienen la capacidad de realizar el pago de la sanción, se van a enfrentar a un costo $S$, mismo que se refleja como un costo $C_S$ para el gobierno con $C_S > c(\eta)$.

En la segunda variable se incluyen costos por el esfuerzo del gobierno, por ejemplo el número de operativos, la cantidad de oficiales destinados al programa, entre otros, este costo va a ser positivo. Suponemos una función lineal definida de la siguiente manera:

$$C_v = (c(\eta) - m)\delta \mathbb{1}_{m+\eta w_i \leq w_i} + C_S \delta \mathbb{1}_{m+\eta w_i > w_i} + \xi$$

- $\delta$= Cantidad de conductores detenidos que superan los límites de alcohol permitido, $\delta \geq 0$.

El gobierno, Jugador 1, va a realizar una elección sobre tres variables continuas:

- m, con $m \geq 0$ variable que representa una sanción monetaria impuesta a los conductores que superan el límite de alcohol permitido. Esta sanción se va a expresar en términos monetarios y va a ser el mismo para todos los conductores sin importar su ingreso.
- $\eta$, variable ligada a una sanción no monetaria, para este modelo la sanción es el arresto. Podemos interpretar el efecto de un arresto como una disminución de una proporción $\eta$ del ingreso, es decir, cuando el conductor es arrestado tiene una pérdida de $\eta w$ de su ingreso $w$, al ser una proporción $\eta \in [0, 1]$.
- $\xi$, variable que denota el esfuerzo en el programa, por ejemplo la cantidad de operativos implementados, los oficiales asignados, las capacitaciones a los oficiales, entre otros.

  Esperamos que la relación entre el esfuerzo y los accidentes sea decreciente.

## 3.2. Conductor

El agente que observa las decisiones del gobierno y con base en esto toma una decisión es el conductor, cuyas características son:

- w, ingreso no observable del conductor, que puede ser destinado a un pago de multas. El ingreso está caracterizado por dos tipos: ingreso bajo $w_L$ e ingreso alto $w_H$, donde una proporción $\alpha$ percibe el ingreso $w_L$ con $\alpha \in [0, 1]$.

- B, variable aleatoria independiente e identicamente distribuida que denota el beneficio por manejar en estado de ebriedad para cada individuo. Su función de distribución está denotada por $F_B(x)$, es diferenciable y su función de densidad por $f_B(x)$, el rango de la función es de $(0, \infty)$.

  Los conductores que cuentan con un beneficio negativo no nos interesan para este modelo, ya que sin importar el tipo y monto de sanción asignada no manejan en estado de ebriedad.

Con base en las variables observadas $(m, \eta, \xi)$ y sus características propias se realiza una elección dicotómica entre manejar (d) o no manejar (nd).

Para realizar la elección, tenemos que el conductor recibe una utilidad de: $w_i - p(\xi)(m + \eta w_i) + B$, si maneja. Donde $p(\xi)$ es una función creciente y cóncava que depende del esfuerzo $\xi$ determinado por el gobierno. La función $p(\xi)$ es interpretada como la probabilidad de ser detenido.

$$p(\xi) : \mathbb{R}^+ \rightarrow [0, 1]$$

Como propiedades de la función si $\xi = 0$ entonces $p(\xi) = 0$, $\lim_{\xi \to \infty} p(\xi) = 1$ y el $\lim_{\xi \to 0} p'(\xi) = \infty$, además la probabilidad de ser detenido está correlacionado positivamente con el esfuerzo, es decir, $\frac{\partial p(\xi)}{\partial \xi} > 0$.

Si el conductor elije no manejar, recibe una utilidad de $w_i$. Para realizar la elección el conductor debe considerar los siguientes casos:

- $w_i - p(\xi)(m + \eta w_i) + B > w_i$. El conductor va a decidir manejar, ya que le genera una mayor utilidad.

- $w_i - p(\xi)(m + \eta w_i) + B < w_i$. El conductor va a decidir no manejar por el nivel de utilidad que representa.

- $w_i - p(\xi)(m + \eta w_i) + B = w_i$. El conductor va a ser indiferente entre manejar o no manejar.

Si el conductor sancionado no cuenta con los recursos para realizar el pago de las multas monetarias, le va a generar un costo $S = w$.

## 3.3. Etapas

El modelo se va a desarrollar en tres etapas, en la primer etapa el gobierno va a elegir sus tres variables de decisión, $(m, \eta, \xi)$ todas ellas variables continuas.

Los conductores observan la elección del gobierno, las sanciones tanto monetarias como no monetarias se publican en el reglamento de tránsito, mientras que la variable esfuerzo va a ser observada por el número de operativos que no son publicados explícitamente por el gobierno.

Los conductores observan su nivel de ingreso y el beneficio que les genera manejar en estado de ebriedad, con base en esto realizan una decisión entre manejar (d) o no manejar (nd).

Si el conductor decide manejar, no necesariamente se enfrenta a un pago de multas, pues interviene la probabilidad $p(\xi)$ de ser detenido, no todos los conductores son detenidos pues depende del esfuerzo del gobierno, se espera que con un mayor esfuerzo la probabilidad de ser detenido sea mayor, ya que se contaría con un mayor número de operativos así como de oficiales a cargo.

Ya que el conductor decide manejar y es detenido, se enfrenta a un pago de una sanción monetaria y una sanción no monetaria , la primera representa un ingreso monetario $m$ para el gobierno y una pérdida monetaria $m$ para el conductor, mientras que la segunda representa un costo monetario para el gobierno representado en sus costos variables $C_v$ y para el conductor es un arresto que en términos monetarios es representado como una pérdida de $\eta w_i$.

## 3.4. Solución

En esta sección se va a solucionar el juego encontrando un Equilibrio Perfecto en Subjuegos, representado por un vector de decisiones del gobierno y del conductor tal que solucionan el juego.

Como método se va a utilizar inducción hacia atrás, primero encontrando solución al conductor donde se maximice su ingreso y posteriormente el gobierno va a minimizar su función objetivo.

Una de las variables que considera el conductor en la toma de decisión es el beneficio $B$ que recibe por manejar. Recordemos que la variable aleatoria $B$ tiene una función de distribución $F_B(x)$, donde $x$ soluciona la decisión del conductor entre manejar o no manejar.

El objetivo del gobierno va a ser minimizar $1 - F_B(x)$, pues a menor cantidad de conductores que manejen menor será la media de accidentes $\gamma$.

Dado $(m, \eta, \xi)$ el conductor realiza su elección, de acuerdo a la sección 3.2 utilizamos el caso en el que el conductor es indiferente para obtener el punto $x$ descrito previamente, entonces despejando tenemos que $x = p(\xi)(m + \eta w_i)$. Por lo que la función a minimizar del gobierno queda de la siguiente manera:

$$\min_{m,\eta,\xi} 1 - F[p(\xi)(m + \eta w_i)] \text{ s.a. } C_f + (c(\eta) - m)\delta \mathbb{1}_{m+\eta w_i \leq w_i} + C_S \delta \mathbb{1}_{m+\eta w_i > w_i} + \xi \leq R \quad (2)$$

### 3.4.1. Información simétrica

Como una primera solución realizamos el caso en el que hay información simétrica, es decir, el gobierno observa el ingreso $w$ de los conductores. El gobierno fija las sanciones monetarias y no monetarias, al conocer los ingresos de los conductores se consideran sanciones tal que $m_i + \eta w_i < w_i$, garantizando que los conductores tienen la capacidad de realizar el pago y el gobierno no va a incurrir en un costo $C_S$.

Enunciamos el siguiente lema para conocer la dominancia entre las sanciones monetarias y no monetarias.

**Lema:** Cuando los ingresos son observables una sanción no monetaria $\eta$ es estrictamente dominada por una sanción monetaria $m$ de igual cuantía.

**Demostración**

*Ante una sanción monetaria $m_i > 0$ el ingreso a posteriori del conductor va a estar dado por:*

$$w_i - m \text{ con } i = \{L, H\}$$

*Notemos que al conocer el ingreso $w_i$ podemos expresar a $m$ como $m = \eta w_i$ con $0 \leq \eta \leq 1$, observemos que esta última ecuación es la definición de una sanción no monetaria, es decir el efecto en el salario del conductor es el mismo con una sanción monetaria y no monetaria.*

*Veamos el efecto de ambas sanciones en la Restricción Presupuestaria del gobierno. Con una sanción donde $m > 0$ y $\eta = 0$ la restricción queda de la siguiente forma:*

$$C_f + \xi - m\delta < R$$
$$0 < R + m\delta - C_f - \xi \tag{3}$$

*Con una sanción donde $m = 0$ y $0 < \eta \leq 1$ la restricción presupuestaria se ve afectada de la siguiente manera.*

$$C_f + \xi + c(\eta)\delta < R$$
$$0 < R - c(\eta)\delta - C_f - \xi \tag{4}$$

*Suponemos que la ecuación (3) es mayor o igual que ecuación (4), para comprobarlo realizamos el comparativo*

$$R - c(\eta)\delta - C_f - \xi < R + m\delta - C_f - \xi$$
$$-c(\eta)\delta < m\delta$$
$$-c(\eta) < m$$

*Sabemos que $c(\eta) > 0$, entonces $-c(\eta) < 0$, además $m > 0$, es claro que un número negativo es menor o igual que un número positivo, por lo que la última desigualdad queda comprobada, es decir el gobierno recibe una mayor utilidad imponiendo una sanción monetaria que una no monetaria.*

*Esto implica que bajo una sanción monetaria la restricción es menos limitante en comparación con una sanción no monetaria. Por lo tanto, la sanción no monetaria es dominada por la sanción monetaria.*

$\square$

En consecuencia de la dominancia de sanciones monetarias sobre sanciones no monetarias el valor de $\eta = 0$. Considerando la sanción monetaria $m_i$ dependiente del tipo de ingreso de los conductores con $i = \{L, H\}$, la función a minimizar queda de la siguiente manera:

$$\min_{m_i,\xi} 1 - F[p(\xi)m_i] \text{ s.a. } C_f + \xi \leq R + m_i\delta \tag{5}$$

Comenzamos a minimizar con respecto a $\xi$ manteniendo constante la variable $m_i$. Notemos que $\frac{\partial P(\xi)}{\partial \xi} > 0$. Adicional encontramos el valor de $\xi$ en la restricción presupuestaria que está acotado de la siguiente manera: $\xi = R + m_i\delta(m_i, \xi) - C_f$.

Para continuar con la solución, se va a considerar que $B \sim U[0, \theta]$, entonces:

$$F_B(x) = \begin{cases} 0 & si\ x \leq 0 \\ \frac{x}{\theta} & si\ 0 < x < \theta \\ 1 & x \geq \theta \end{cases}$$

$$f_B(x) = \begin{cases} \frac{1}{\theta} & si\ 0 \leq x \leq \theta \\ 0 & otro\ caso \end{cases}$$

El número de detenidos $\delta$ es un resultado que depende de las decisiones del gobierno, considerando su distribución uniforme, los conductores que van a manejar en estado de ebriedad se definen como $1 - F_B(x) = 1 - \frac{x}{\theta}$ con $x = p(\xi)m_i$, si $0 < p(\xi)m_i < \theta$, sustituyendo el valor de $x$ tenemos que los conductores que deciden manejar son $k\left[1 - \frac{p(\xi)m_i}{\theta}\right]$, con $k > 0$ el número total conductores.

De la cantidad de conductores que manejan en estado de ebriedad, solo un porcentaje es detenido, esta proporción está determinada por $p(\xi)$, entonces $\delta(m_i, \xi) = k\left[p(\xi) - \frac{p(\xi)^2 m_i}{\theta}\right]$.

Calculando los efectos de $\delta(m_i, \xi)$ con respecto a $(m_i, \xi)$, tenemos lo siguiente:

$$\frac{\partial \delta}{\partial m_i} = -k\frac{p(\xi)^2}{\theta} < 0$$

$$\frac{\partial \delta}{\partial \xi} = k\left[p'(\xi) - \frac{2p(\xi)m_i}{\theta}\right]$$

Notemos que $p'(\xi) > 0$ por ser una función creciente, esto implica que ante un aumento de $\xi$ la probabilidad de ser detenido aumenta, por otro lado $\frac{2p(\xi)m_i}{\theta}$ nos muestra la relación entre el beneficio máximo de los conductores que es $\theta$ y $2p(\xi)m_i$.

Notemos que si $2p(\xi)m_i < \theta$ implica que al imponer una sanción monetaria de $m_i$ el conductor indiferente que se encuentra en $x = p(\xi)m_i$ se va a encontrar por debajo de la mitad de la distribución, es decir, al menos la mitad de los conductores decidirán manejar. El signo de $\frac{\partial \delta}{\partial \xi}$ va a depender de la relación de $p'(\xi) > 0$ y $\frac{2p(\xi)m_i}{\theta}$.

Al sustituir el valor de $\delta(m_i, \xi)$ en la igualdad de $\xi$, considerando que $m_i + \eta w_i < w_i$:

$$\xi = R + m_i k \left( p(\xi) - \frac{p(\xi)^2 m_i}{\theta} \right) - C_f$$

$$\xi - R - m_i k \left( p(\xi) - \frac{p(\xi)^2 m_i}{\theta} \right) + C_f = 0 \tag{6}$$

La ecuación $(6)$ es una función que depende de $(\xi, m_i, C_f, R, \theta)$ y es continuamente diferenciable, además existe un punto $x = (x_1, x_2, \cdots, x_5)$ tal que la función evaluada en $x$ es igual a cero. Como no podemos expresar a $\xi$ como función explicita de las demás variables, utilizamos el Teorema de Función Implícita para definir $\xi = \xi(m_i, C_f, R, \theta)$ donde $\xi$ es la variable dependiente y el resto son variables independientes.

Sustituyendo el valor de $\xi = \xi(\cdot)$ en la ecuación $(5)$ tenemos:

$$\min_{m_i} 1 - F\left[p(\xi(\cdot))m_i\right]$$

Para solucionar la ecuación anterior debemos de considerar los siguientes casos con respecto al valor de $p(\xi(\cdot))m_i$,

- **Caso 1.** $p(\xi(\cdot))m_i \leq 0$

Para cumplir la condición consideramos $p(\xi(\cdot)) \leq 0$ para un $m_i > 0$, sin embargo por propiedades $p(\xi(\cdot)) \geq 0$, entonces solo consideramos el caso en que $p(\xi(\cdot)) = 0$, es decir $\xi(\cdot) = 0$. Lo que significa que el esfuerzo del gobierno es nulo, es decir, no hay operativos ni personal capacitado para la detención de conductores en estado de ebriedad. Esto implica que sin importar el valor de $m_i$ los conductores no son detenidos y por ende no reciben una sanción.

Si imponemos $m_i = 0$ y $p(\xi(\cdot)) > 0$, se satisface que $p(\xi(\cdot))m_i \leq 0$, bajo esta condición no hay sanciones monetarias y como resultado del lema las sanciones no monetarias son nulas, esto implica que a pesar de tener operativos y personal capacitado, no hay sanciones para los conductores que incumplan.

Los conductores no son detenidos o no tienen sanciones, por lo que no hay una disminución de conductores que manejen en estado de ebriedad ni una recaudación por parte del gobierno.

- **Caso 2.** $0 < p(\xi(\cdot))m_i < \theta$

Calculamos la condición de primer orden utilizando la regla de la cadena para derivar con respecto a $m_i$.

$$-f_B\left[p(\xi(\cdot))m_i\right]\left(p'(\xi(\cdot))\frac{\partial \xi}{\partial m_i}m_i + p(\xi(\cdot))\right) = 0$$

Considerando el valor de $0 < p(\xi(\cdot))m_i < \theta$, la función de densidad $f_B(p(\xi(\cdot))m_i) = \frac{1}{\theta}$.

$$-\frac{1}{\theta}\left(p'(\xi(\cdot))\frac{\partial \xi}{\partial m_i}m_i + p(\xi(\cdot))\right) = 0 \tag{7}$$

Calculamos el valor de $\frac{\partial \xi}{\partial m_i}$ utilizando el teorema de función implícita:

$$\frac{\partial}{\partial m_i}\left(\xi - R - m_i k\left(p(\xi) - \frac{p(\xi)^2 m_i}{\theta}\right) + C_f\right) = 0$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial m_i} = \frac{\overbrace{kp(\xi)}^{>0} - \overbrace{\frac{2m_i kp(\xi)^2}{\theta}}^{>0}}{1 - \underbrace{km_i p'(\xi)}_{>0} + \underbrace{\frac{2km_i^2 p(\xi)}{\theta}}_{>0}}$$

Notemos que el signo de $\frac{\partial \xi}{\partial m_i}$ depende de la relación que existe entre el doble de la sanción, es decir, $2m_i p(\xi)$ y el valor de beneficio máximo $\theta$, además de la relación entre la función $p(\xi)$, su derivada. Sustituyendo tenemos:

$$-\frac{1}{\theta}\left[m_i p'(\xi)\left(\frac{kp(\xi) - \frac{2m_i kp(\xi)^2}{\theta}}{1 - km_i p'(\xi) + \frac{2km_i^2 p(\xi)}{\theta}}\right) + p(\xi)\right] = 0$$

Manipulando la ecuación anterior tenemos lo siguiente:

$$-\frac{1}{\theta}\left[\frac{km_ip(\xi)(\theta-2m_ip(\xi))p'(\xi)}{\theta+km_i(2m_ip(\xi)-\theta p'(\xi))}+p(\xi)\right]=0$$

$$-\frac{p(\xi)}{\theta}\left[\frac{2km_i^2p(\xi)(1-p'(\xi))}{\theta+km_i(2m_ip(\xi)-\theta p'(\xi))}\right]=0 \tag{8}$$

La ecuación nos muestra la relación entre las variables, donde:

- $\frac{p(\xi)}{\theta}$ Es la relación entre el parámetro de la distribución del beneficio y la función $p(\xi)$, sabemos que $\frac{p(\xi)}{\theta}<\frac{1}{m}$ de acuerdo a la condición inicial.
- $p'(\xi)$, nos indica el cambio que tiene la función $p(\cdot)$ cuando incrementa el valor del esfuerzo $\xi$, al ser una función creciente $p'(\xi)>0$.
- $\frac{2m_i^2p(\xi)}{\theta}$ es el cociente entre el beneficio máximo del conductor $\theta$ y $2m_i^2p(\xi)$, si $2m_i^2p(\xi)<\theta$ implica que al imponer una sanción de $m_i$ el conductor indiferente con beneficio $x=p(\xi)m_i$, va a estar por debajo de la mitad de la distribución.

Calculamos las condiciones de segundo orden con respecto a $m_i$ utilizando la ecuación (7):

$$-\frac{1}{\theta}\left[p'(\xi)\frac{\partial\xi}{\partial m_i}+m_ip''(\xi)\left(\frac{\partial\xi}{\partial m_i}\right)^2+m_ip'(\xi)\frac{\partial^2\xi}{\partial m_i^2}+p'(\xi)\frac{\partial\xi}{\partial m_i}\right]$$

$$-\frac{1}{\theta}\left[\underbrace{2p'(\xi)}_{>0}\frac{\partial\xi}{\partial m_i}+\underbrace{m_ip''(\xi)\left(\frac{\partial\xi}{\partial m_i}\right)^2}_{<0}+\underbrace{m_ip'(\xi)}_{>0}\frac{\partial^2\xi}{\partial m_i^2}\right] \tag{9}$$

Para garantizar que estamos minimizando, la ecuación (9) debe ser positiva, en particular depende del signo de $\frac{\partial\xi}{\partial m_i}$, si es negativo nos indica que ante un aumento de $m_i$ el esfuerzo del gobierno $\xi$ va a disminuir.

El valor de $m_i$ va a ser tal que resuelva la ecuación (8), si como resultado de la solución tenemos $m_i\le w_i$ la sanción monetaria va a ser $m_i$ con $i\in\{L,H\}$. Por el contrario, si $m_i>w_i$ los conductores se enfrentan a un costo S, mismo que genera un costo al gobierno $C_s$, al tener ingresos observables el gobierno puede discriminar e imponer una sanción $m_i=w_i$.

- **Caso 3.** $p(\xi)m_i \geq \theta$

Recordemos que $p(\xi) \in [0,1)$, para cumplir la condición se debe dar que $m_i \geq \frac{\theta}{p(\xi)}$, bajo estas condiciones $F_B(p(\xi)m_i) = 1$.

Para alcanzar dicho valor necesitamos una $m_i$ suficientemente grande, de lo contrario el conductor será sujeto a un costo S. El valor máximo de la sanción monetaria que los conductores pueden enfrentar es $m_L = w_L$ y $m_H = w_H$ y serán solución si $m_i \geq \frac{\theta}{p(\xi)}$, de lo contrario la solución será interna y nos referiremos al caso 2.

**Proposición:** El Equilibrio Perfecto en Subjuegos con información simétrica está dado por el vector $(m_i, \eta, \xi)$, donde $\eta = 0$, $\xi = R + m_i\left(p(\xi) - \frac{p(\xi)^2 m_i}{\theta}\right) - C_f$ y $m_i$ que resuelve la ecuación (8). La recaudación del gobierno va a estar dada por $\delta(\alpha m_L + (1-\alpha)m_H)$. El conductor no va a manejar si el beneficio que recibe por manejar es menor a $p(\xi)m_i$, de lo contrario va a manejar pues recibe un beneficio mayor a la sanción impuesta. Notemos que como solución tenemos una multa diferenciada, donde $m_L < m_H$.[2]

### 3.4.2. Información asimétrica

En esta sección se va a realizar la solución considerando información asimétrica, es decir, el ingreso no va a ser observable, pero sabemos que el ingreso está caracterizado en dos tipos de ingreso, $\alpha$ conductores tienen el ingreso bajo $w_L$ y $1-\alpha$ cuentan con el ingreso alto $w_H$.

Los conductores que son detenidos por manejar en estado de ebriedad son determinados por las decisiones del gobierno y los conductores, considerando que la variable $B \sim U[0,\theta]$, estos conductores se definen como $1 - F_B(x) = 1 - \frac{p(\xi)(m+\eta w_i)}{\theta}$ con $x = p(\xi)(m + \eta w_i)$.

La cantidad de conductores detenidos $\delta$, es un porcentaje de los conductores $k$ que deciden manejar

2. Existe la posibilidad de imponer una sanción monetaria $m_L = w_L$ y $m_H = w_H$ para lograr una mayor recaudación, la probabilidad de ser detenido es positiva y a su vez existen conductores que deciden manejar por el beneficio que reciben. Si el gobierno decide, por ejemplo, disminuir el costo político de una sanción alta, es viable imponer $m_L < w_L$ y $m_H < w_H$. La probabilidad de ser detenido se mantiene positiva y a su vez existen conductores que deciden manejar.

en estado de ebriedad, es decir, $\delta(m,\eta,\xi,w_i) = k\left[p(\xi) - \frac{p(\xi)^2(m+\eta w_i)}{\theta}\right]$. Calculando los efectos de $\delta(m,\eta,\xi,w_i)$ con respecto a $(m,\eta,\xi)$, tenemos:

$$\frac{\partial\delta}{\partial m} = -\frac{kp(\xi)^2}{\theta} < 0$$

$$\frac{\partial\delta}{\partial\eta} = -\frac{kp(\xi)^2 w_i}{\theta} < 0$$

$$\frac{\partial\delta}{\partial\xi} = k\left[p'(\xi) - \frac{2p(\xi)(m+\eta w_i)}{\theta}\right]$$

Tenemos que $p'(\xi) > 0$ por ser una función creciente y $\frac{2p(\xi)(m+\eta w_i)}{\theta}$ lo podemos interpretar como el efecto marginal en la reducción de conductores que manejan bajo el influjo del alcohol por un aumento en la sanción total.

La restricción de la ecuación (2) está dada por:

$$\xi - R + (c(\eta) - m)\delta\mathbb{1}_{m+\eta w_i \leq w_i} + C_S\delta\mathbb{1}_{m+\eta w_i > w_i} + C_f = 0$$

al sustituir el valor de $\delta$ tenemos la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} &\xi - R + (c(\eta) - m)k\left(p(\xi) - \frac{p(\xi)^2(m+\eta w_i)}{\theta}\right)\mathbb{1}_{m+\eta w_i \leq w_i} + \\ &C_S k\left(p(\xi) - \frac{p(\xi)^2(m+\eta w_i)}{\theta}\right)\mathbb{1}_{m+\eta w_i > w_i} + C_f = 0 \end{aligned} \tag{10}$$

La ecuación $(10)$ es una función que depende de $(m,\eta,\xi,w_i,R,C_f,\theta)$, es continuamente diferenciable y existe un punto $x = (x_1, x_2, \cdots, x_7)$ tal que la función evaluada en $x$ es igual a cero, notemos que la ecuación toma al menos un valor negativo y positivo, el primero se da si $\xi = 0$ y el segundo caso cuando $\xi \to \infty$. Como no podemos despejar la variable $\eta$ de manera explicita utilizamos el Teorema de Función Implícita para expresar a $\xi$ como función implícita de las demás variables, con $\xi = \xi(m,\eta,w_i,R,C_f,\theta)$. Si suponemos $m$ y $\eta$ arbitrarios y expresamos a $\xi$ como función implícita, la función $(2)$ queda como:

$$\min_{m,\eta} 1 - F[p(\xi(\cdot))(m+\eta w_i)]$$

Denotemos como $g()$ la ecuación anterior, al tener valores arbitrarios, podemos calcular las derivadas parciales de la ecuación anterior con respecto a $m$ y $\eta$ y posteriormente compararlas.

$$\frac{\partial g()}{\partial m} = -f[p(\xi(\cdot))(m+\eta w_i)]\left[p(\xi) + p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial m}(m+\eta w_i)\right]$$
$$\frac{\partial g()}{\partial \eta} = -f[p(\xi(\cdot))(m+\eta w_i)]\left[p(\xi)w_i + p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial \eta}(m+\eta w_i)\right]$$

Si $0 < p(\xi(\cdot))(m+\eta w_i) < \theta$ entonces $f[p(\xi(\cdot))(m+\eta w_i)] = \frac{1}{\theta}$, sustituyendo tenemos:

$$\frac{\partial g()}{\partial m} = -\frac{1}{\theta}\left[p(\xi) + p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial m}(m+\eta w_i)\right] \tag{11}$$

$$\frac{\partial g()}{\partial \eta} = -\frac{1}{\theta}\left[p(\xi)w_i + p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial \eta}(m+\eta w_i)\right] \tag{12}$$

Realizando el comparativo $\frac{\partial g()}{\partial m} < \frac{\partial g()}{\partial \eta}$, el detalle con las condiciones necesarias se encuentra en el anexo. A continuación, se analizan las diferentes casos posibles de la sanción monetaria y no monetaria.

**Condición 1:** $m + \eta w_i \leq w_L < w_H$

Si el valor de $m + \eta w_i$ es menor a $w_L$, los conductores de bajo ingreso y los de ingreso alto tienen la capacidad de pagar la sanción monetaria y de cumplir la sanción no monetaria. De acuerdo a la restricción de la ecuación $(2)$ el gobierno va a tener una recaudación de $m\delta$ y un costo de $c(\eta)\delta$.

Si el gobierno buscara la mayor recaudación posible, la diferencia entre $m$ y $c(\eta)$ debe ampliarse, como $m \geq 0$ y $c(\eta) \geq 0$, el gobierno puede buscar una combinación que le genere la mayor recaudación posible, haciendo que:

$$m \to w_L$$

$$\eta \to 0$$

Al tener una sanción menor a $w_L$ todos los conductores tienen la capacidad de pagar la sanción monetaria, por lo que la recaudación del gobierno asciende a $m\delta$.

Del lado del conductor, la sanción afecta de manera directa su ingreso; posterior al pago de la multa el ingreso de los conductores es $w_i - m - \eta w_i$ con $i \in [L, H]$. Notemos que el impacto de la sanción no monetaria $\eta$ afecta proporcionalmente a ambos conductores, mientras que $m$ afecta en mayor medida a los conductores de ingreso bajo $w_L$ que a los conductores de ingreso alto $w_H$, pues $\frac{m}{w_H} < \frac{m}{w_L}$.

Recordemos que el objetivo del gobierno es disminuir la media de accidentes. Si se impone una sanción de $m = w_L$ el impacto en los conductores de ingreso alto va a ser menor. A continuación se muestra un ejemplo numérico para ilustrar la diferencia.

Supongamos que $w_L = 100$, $w_H = 1,000$, $m = 50$ y $\eta = .30$. Los efectos para cada conductor considerando una sanción de $m + \eta w_i$ son:

- Conductores de ingreso bajo. El pago total de la sanción está dada por: $50 + 100(.30)$. Su ingreso posterior al pago de la multa es de $20$; es decir, su ingreso disponible disminuye $80\,\%$.
- Conductores de ingreso alto. El pago de la sanción es $50 + 1,000(.30)$. Su ingreso posterior al pago de la multa es de $650$, es decir, su ingreso disponible disminuye $35\,\%$.

Suponiendo que $c(\eta) = \eta * 10$, el gobierno va a recaudar $m - c(\eta) = 50 - 3 = 47$ por cada detenido.

Si el gobierno desea lograr la mayor recaudación posible bajo la condición $m + \eta w_i \leq w_L$, plantea $m = w_L$ y $\eta = 0$, los conductores se ven afectados de la siguiente manera:

- Conductores de ingreso bajo. El pago total de la sanción es $m = 100$, su ingreso posterior al pago de la multa es de $0$; es decir, pierde todo su ingreso disponible.
- Conductores de ingreso alto. El pago de la sanción es $m = 100$, su ingreso posterior al pago de la multa es de $900$; es decir, su ingreso disponible disminuye $10\,\%$.

Bajo esta multa, el gobierno recauda $m = 100$ por cada detenido.

Si bien la recaudación es mayor en el segundo caso, el impacto a los conductores varía significativamente. Los conductores de ingreso bajo pasan de pagar el $80\,\%$ de su ingreso disponible al $100\,\%$, mientras que los conductores de ingreso alto pagan el $30.5\,\%$ de su ingreso disponible bajo el primer supuesto a pagar el $10\,\%$ con el segundo supuesto.

Una pérdida de salario de $35\,\%$ es más significativa que una pérdida del $10\,\%$. Con esta última los conductores de ingreso alto pueden ser indiferentes al pago de la sanción, por lo que una mayor cantidad de conductores van a decidir manejar bajo los efectos del alcohol, incrementando el total de conductores y por ende los accidentes de tránsito relacionados con la ingesta de alcohol, es decir, no se cumple el objetivo del gobierno.

Como hemos visto en el ejercicio numérico, la importancia de la sanción no monetaria se refleja en castigar a los conductores de igual manera sin importar su nivel de ingreso. La sanción monetaria cumple dos objetivos: el primero castigar a los conductores y el segundo lograr una recaudación con la que se puede incrementar el esfuerzo y a su vez aumentar la probabilidad de detención de los conductores. Recordemos que la sanción no monetaria para el gobierno se traduce en un costo y de incluir solo sanciones no monetarias dependiendo de su función de costos $c(\eta)$, no hay recursos añadidos para aumentar el esfuerzo.

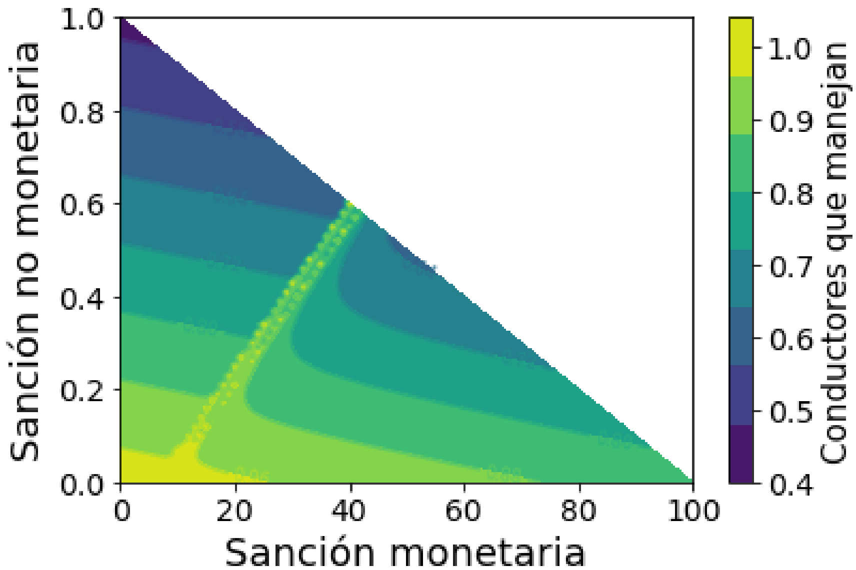
Recordemos que $\frac{\partial g()}{\partial m} < \frac{\partial g()}{\partial \eta}$, si el gobierno busca incrementar la sanción impuesta, podemos pensar en un incremento en $\eta$ para afectar a ambos conductores en la misma proporción.

**Ejercicio numérico:**
Considerando la restricción de la ecuación $(2)$ se realizó un ejercicio numérico con las siguientes condiciones:

- Total de conductores: $k = 100$
- Ingreso bajo: $w_L = 100$
- Ingreso alto: $w_H = 1,000$
- Proporción de conductores con ingreso bajo $\alpha = \frac{2}{3}$
- Beneficio máximo de los conductores: $\theta = 600$
- Recursos iniciales: $R = 1,000$
- Costo fijo: $C_f = 500$
- Función $p(\xi) = \frac{9\xi}{1000+9\xi}$

En la primera etapa el gobierno utiliza todos sus recursos, por lo que el esfuerzo va a ser $\xi = 500$, posteriormente el monto recaudado se utiliza en la siguiente etapa como esfuerzo. El ejercicio se realizó con diferentes combinaciones para $m$ y $\eta$ considerando que $m + \eta w_i \leq w_i$. La Figura 1 muestra al conductor indiferente de acuerdo a la combinación de diferentes sanciones monetarias y no monetarias.

Figura 1: Comportamiento de conductores

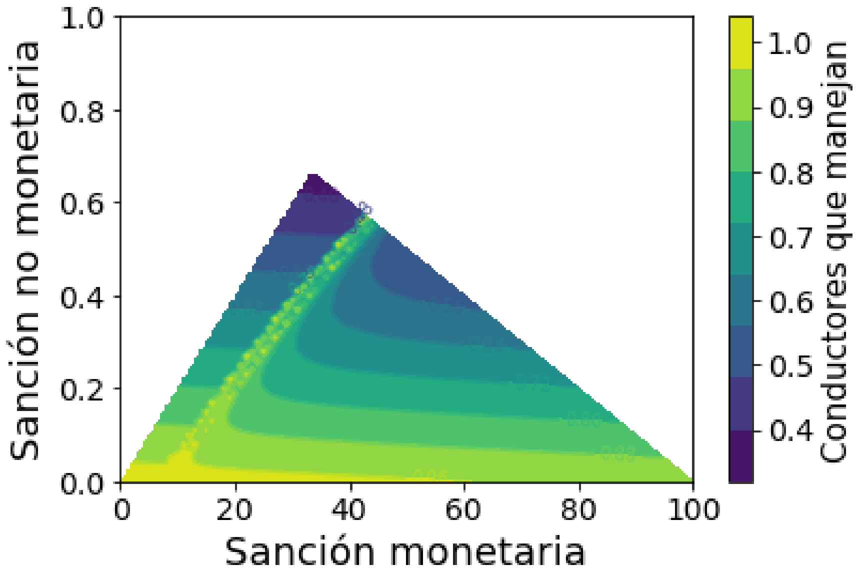



De acuerdo con la Figura 1, observamos lo siguiente:

- Cuando $m = 0$ y $\eta = 0$ los conductores deciden manejar, pues no existe penalización alguna.
- La combinación de sanciones monetarias y no monetarias positivas, $m > 0$ y $0 < \eta < 1$ disminuyen la cantidad de conductores que deciden manejar en estado de ebriedad.
- El valor mínimo de conductores que deciden manejar se encuentra en $(m = 0, \eta = 1)$, es decir cuando se impone solo una sanción no monetaria igual al 100 % del ingreso disponible $w_L, w_H$. Este caso se da cuando hay recursos iniciales suficientes, de lo contrario la solución se va a presentar con $m > 0$ y $0 < \eta < 1$.
- A pesar de que una sanción $m = 100$ es igual a $\eta = 1$ para los conductores de ingreso bajo, el impacto en los conductores que deciden manejar es menor, debido a que se incluyen conductores de ingreso alto.

Al contar con recursos iniciales insuficientes el gobierno va a optar por una solución donde $m > 0$ y $\eta < 1$, para ilustrar esto, consideramos una mayor brecha entre el ingreso mínimo y el ingreso alto, con $w_L = 100$ y $w_H = 5,000$.

Figura 2: Recursos iniciales insuficientes




En comparación con la Figura 1, notamos que hay un área que no se refleja, esto se debe a que la recaudación no es suficiente para desarrollar operativos. Esto es, cuando solo se plantean sanciones no monetarias estas generan un costo y al tener recursos limitados no es viable el desarrollo de operativos.

De acuerdo con la Figura 2, al tener recursos limitados no se alcanza un óptimo con $\eta = 1$, este se alcanza con una combinación de ambas sanciones y su óptimo varía de acuerdo con las características de los conductores y los costos en los que se ve involucrado el gobierno.

Con los dos ejemplos anteriores podemos observar que es mayor el impacto de una sanción no monetaria para disminuir el número de conductores que deciden manejar en estado de ebriedad, esto coincide con que $\frac{\partial g()}{\partial m} < \frac{\partial g()}{\partial \eta}$.

**Condición 2:** $w_L < m + \eta w_i \leq w_H$

Los conductores de ingreso alto van a poder pagar la sanción monetaria y no monetaria pues se encuentra debajo de su ingreso. Por otro lado los conductores de ingreso bajo no tienen la capacidad de cumplir la sanción, entonces se enfrentan a un costo $S$.

Para el gobierno el pago de la multa de los conductores de ingreso alto representa un ingreso de $(1-\alpha)(m-c(\eta))\delta$. Los conductores de ingreso bajo se enfrentan a un costo $S$, mismo que se refleja en un costo $C_S$ para el gobierno, con $C_S > c(\eta)$. Por la proporción de los conductores, el gobierno va a tener una recaudación de $\delta(m(1-\alpha)-\alpha C_S)$.

Bajo esta condición la sanción monetaria y no monetaria únicamente afecta a los conductores con ingreso alto, ya que se rebasa el ingreso de los conductores de bajo ingreso, en consecuencia podemos expresar $\eta w_i = \eta w_H$. Si el gobierno implementa la mayor sanción posible bajo esta condición, tenemos:

$$m + \eta w_H = w_H$$

Si el gobierno buscara la mayor recaudación posible, debe ampliar la diferencia entre $m$ y $c(\eta)$, similar a la condición anterior se va a lograr si:

$$m \to w_H$$

$$\eta \to 0$$

A diferencia del inciso anterior, bajo esta condición el gobierno puede plantear un $\eta = 0$, debido a que no se tiene un grupo de conductores con ingreso superior a $w_H$ que se vea afectado en menor medida con una misma sanción $m$.

El gobierno debe de considerar los valores de $\alpha, C_S, c(\eta)$, si $(1-\alpha)(m-c(\eta)) < \alpha C_S$. El gobierno va a tener un costo por lo que solo se va a tener una primera detención, a menos de que se cuente con recursos ilimitados.

Entonces, considerando un valor de $C_S$ alto, que puede estar por encima de lo que logre recaudar con los conductores de ingreso alto, el gobierno va a estar limitado por sus recursos, por lo que un resultado que involucre un costo mayor para el gobierno no va a ser solución pues puede imponer un efecto similar con una combinación de sanciones monetarias y no monetarias.

**Condición 3:** $w_L < w_H < m + \eta w_i$

La sanción impuesta es superior al ingreso de ambos conductores, en consecuencia los conductores se enfrentan a un costo $S$ y el gobierno a un costo $C_S$. Con $\delta$ conductores detenidos, el gobierno va a tener un costo de $C_S\delta$, no genera recaudación alguna.

Bajo esta condición, los recursos se encuentran limitados a un número de conductores detenidos que va a depender de la relación entre $C_S, R, C_f$ y $\xi$.

Realizando un comparativo entre las 3 condiciones posibles, notamos que con la condición 3 no tenemos un óptimo factible, pues el gobierno va a tener un límite ex ante de detenidos que va a estar determinado por los recursos disponibles.

Con la condición 2, la recaudación va a depender del valor de $\alpha$, $C_S$ y $c(\eta)$. El gobierno va a tener un ingreso mayor o igual a cero si $m(1-\alpha) \geq \alpha C_S$, si $m(1-\alpha) < \alpha C_S$ el gobierno va a tener un costo.

La condición 1 es la de mayor interés debido a que logra sancionar a ambos conductores generando una recaudación

**Proposición:** El Equilibrio Perfecto en Subjuegos con información asimétrica está dado por el vector $(m, \eta, \xi)$ que se resuelve con las ecuaciones $10, 11, 12$ . El conductor no va a manejar si el beneficio que recibe por manejar $\theta$ es menor a $p(\xi)(m - \eta w_i)$ para $i \in (L, H)$.

# 4. Conclusiones

Se describió en un modelo general la interacción de los jugadores en el proceso de establecer una sanción ante una falta de tránsito, en particular manejar bajo los influjos del alcohol.

En el caso de información simétrica, cuando el gobierno tiene la capacidad de observar el ingreso de los conductores se concluyó que imponer una sanción monetaria es preferible a imponer una sanción no monetaria. Entonces el valor de la sanción no monetaria es cero. Esta conclusión es consistente con D'Antoni y Galbiati (2007) bajo una teoría de señalización.

Por el contrario, cuando se presenta información asimétrica, una sanción no monetaria se vuelve relevante. Los resultados indican que cuando se tienen recursos ilimitados, imponer una sanción no monetaria, en este caso el arresto, tiene un mayor efecto que imponer una sanción monetaria o una combinación de ambos. Cuando se cuentan con recursos limitados, en el caso de información asimétrica, lo óptimo es imponer una combinación de sanción monetaria y no monetaria.

El modelo presenta diversas limitantes. Una de ellas es considerar solo dos ingresos para los conductores, ingreso bajo e ingreso alto. Si el gobierno impone una sanción superior al ingreso disponible, se enfrenta a un costo por aquellos conductores que no pueden pagar la sanción; este puede ser el costo político de retirar las licencias de conducir a los conductores que no pueden pagar la sanción. De acuerdo con los resultados, el caso relevante se da cuando el gobierno impone una sanción menor o igual al ingreso mínimo disponible. Por lo tanto, considerar más de dos ingresos no cambia los resultados en cuanto a la relación entre la asimetría de información con respecto a los recursos disponibles y la preferencia entre sanciones monetarias y no monetarias.

Para simplificar el modelo, se considera que el efecto de las sanciones no varia en el tiempo, en particular no se realiza distinción alguna por el día en que los conductores son sancionados. Considerando que los operativos generalmente se colocan los fines de semana es un supuesto que podemos incluir. La relevancia de incluir el supuesto de los días de operativo radica en conjeturar que los conductores tienen diferente efecto en su ingreso disponible por la sanción. Suponemos que los conductores de ingreso alto tienen un menor efecto en su ingreso disponible, en comparación con los conductores de ingreso bajo. Entonces los conductores de ingreso alto van a ser persuadidos en menor medida a conducir en estado de ebriedad, por lo que el gobierno buscará aumentar la sanción no monetaria para afectar a los conductores de ingreso alto.

Si bien, el modelo tiene diversas limitantes para hacer el análisis más sencillo, ilustra el uso de sanciones no monetarias como el arresto, interpretada como una disminución del ingreso disponible de los conductores y muestra el uso óptimo de estas sanciones bajo diferentes condiciones.

# 5. Anexo

A continuación se desarrollan las derivadas parciales con respecto a $m$ y $\eta$ de la ecuación (11), utilizando el Teorema de Función Implícita bajo el supuesto de que $m + nw_i \leq w_i$ con $i \in (L, H)$:

$$\frac{\partial \xi}{\partial m} = \frac{kp(\xi)(\theta + p(\xi)(c(\eta) - 2m - \eta w_i))}{\theta + k(m - c(\eta))(2(m + \eta w_i)p(\xi) - \theta)p'(\xi)}$$

$$\frac{\partial \xi}{\partial \eta} = \frac{kp(\xi)(-\theta c'(\eta) + p(\xi)((m + \eta w_i)c'(\eta) + w_i c(\eta) - mw_i))}{\theta + k(m - c(\eta))(2(m + \eta w_i)p(\xi) - \theta)p'(\xi)}$$

Suponemos que $\frac{\partial \xi}{\partial m} < \frac{\partial \xi}{\partial \eta}$, veamos las condiciones necesarias que se cumpla. Al tener el mismo denominador, basta realizar el comparativo de ambos numeradores.

$$kp(\xi)(\theta + p(\xi)(c(\eta) - 2m - \eta w_i)) < kp(\xi)(-\theta c'(\eta) + p(\xi)((m + \eta w_i)c'(\eta) + w_i c(\eta) - mw_i))$$

$$\theta + \theta c'(\eta) + p(\xi)\left[c(\eta) - 2m - \eta w_i - (m + \eta w_i)c'(\eta) - w_i c(\eta) + mw_i\right] < 0$$

$$\theta(1 + c'(\eta)) + p(\xi)\left[c(\eta)(1 - w_i) - 2m - \eta w_i + mw_i - (m + \eta w_i)c'(\eta)\right] < 0$$

$$\underbrace{\theta(1 + c'(\eta))}_{>0} + \underbrace{p(\xi)}_{>0}\left[c(\eta)(1 - w_i) + w_i(m - \eta) - 2m - \underbrace{(m + \eta w_i)c'(\eta)}_{>0}\right] < 0$$

Analicemos el signo de los elementos restantes:

- Si $w_i > 1$ entonces $1 - w_i < 0$, por lo que $c(\eta)(1 - w_i) < 0$
- Si $m > \eta$ entonces $w_i(m - \eta) > 0$

Sea $A = c(\eta)(1 - w_i) - 2m - (m + \eta w_i)c'(\eta) + w_i(m - \eta)$ y $A < 0$, entonces la desigualdad se cumple si:

$$\theta(1 + c'(\eta)) < -p(\xi)A$$

Los resultados anteriores los utilizamos para hacer el comparativo entre $\frac{\partial g()}{\partial m}$ y $\frac{\partial g()}{\partial \eta}$. Si $1 < w_i$ entonces $p(\xi) < p(\xi)w_i$, por otro lado si $\frac{\partial \xi}{\partial m} < \frac{\partial \xi}{\partial \eta}$, entonces $p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial m}(m+\eta w_i) < p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial \eta}(m+\eta w_i)$.

Sabemos que si $a < b$ y $c < d$ entonces $a + c < b + d$, por lo tanto

$$p(\xi) + p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial m}(m + \eta w_i) < p(\xi)w_i + p'(\xi)\frac{\partial \xi}{\partial \eta}(m + \eta w_i)$$

Esto implica que $\frac{\partial g()}{\partial m} < \frac{\partial g()}{\partial \eta}$.

# Referencias


Abu-Zidan, Fikri M, y Hani O Eid. 2015. «Factors affecting injury severity of vehicle occupants following road traffic collisions». *Injury* 46 (1): 136-141.

Basili, Marcello, Filippo Belloc y Antonio Nicita. 2015. «Group attitude and hybrid sanctions: Micro-econometric evidence from traffic law». *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 78:325-336.

Buendía Muñoz, Rebeca. 2013. «El efecto del programa nacional de alcoholimetría sobre los accidentes de tránsito vehicular en México». Trabajo fin de máster, Centro de Investigación y Docencia Económica, A.C.

Castillo-Manzano, José I, Mercedes Castro-Nuño, Lourdes López-Valpuesta y Diego J Pedregal. 2019. «From legislation to compliance: The power of traffic law enforcement for the case study of Spain». *Transport policy* 75:1-9.

Colchero, MA, CM Guerrero-López, JA Quiroz-Reyes y S Bautista-Arredondo. 2020. «Did "Conduce Sin Alcohol" a Program that Monitors Breath Alcohol Concentration Limits for Driving in Mexico City Have an Effect on Traffic-Related Deaths?» *Prevention science* 21 (7): 979-984.

Coordinación General Jurídica. 2017. *Reglamento general de la ley de transporte, tránsito y vialidad del estado de Zacatecas.* México: Coordinación General Jurídica. http://cgj.zacatecas.gob.mx/MJE/REGLAMENTOS/Reglamento%20General%20de%20la%20Ley%20de%20Transporte,%20Tr%C3%A1nsito%20y%20Vialidad%20del%20Estado%20de%20Zacatecas.pdf.

D'Antoni, Massimo, y Roberto Galbiati. 2007. «A signaling theory of nonmonetary sanctions». *International Review of Law and Economics* 27 (2): 204-218.

Gill, Sabrina, Mason Sutherland, Mark McKenney y Adel Elkbuli. 2020. «US alcohol associated traffic injuries and fatalities from 2014 to 2018». *The American Journal of Emergency Medicine* 38 (12): 2646-2649.

Gobierno de la Ciudad de México. 2015. *Reglamento de tránsito de la Ciudad de México.* México: Gobierno de la Ciudad de México. https://data.consejeria.cdmx.gob.mx/images/leyes/reglamentos/REGLAMENTO_DE_TRANSITO_DE_LA_CIUDAD_DE_MEXICO_2.pdf.

*Informe sobre la situación de la seguridad vial, México 2018.* 2019. Informe técnico. México, Ciudad de México: Secretaría de Salud/STCONAPRA. https://drive.google.com/file/d/1Y3jBmQqFBDuMOk5rTGgO_87S4nVMIdRQ/view.

Jøgensen, Finn, y Tore Wentzel-Larsen. 2002. «Car drivers' willingness to pay for not losing their driving licence». *Transportation* 29 (3): 271-286.

Polinsky, A Mitchell. 2006. «The optimal use of fines and imprisonment when wealth is unobservable». *Journal of Public Economics* 90 (4-5): 823-835.

Rizzolli, Matteo, y James Tremewan. 2018. «Hard labor in the lab: Deterrence, non-monetary sanctions, and severe procedures». *Journal of behavioral and experimental economics* 77:107-121.

Ruhm, Christopher J. 1996. «Alcohol policies and highway vehicle fatalities». *Journal of health economics* 15 (4): 435-454.

Secretaría de Salud/STCONAPRA. s.f. *Protocolo para la implementación de puntos de control de Alcoholimetría.* México: Secretaría de Salud/STCONAPRA. https://www.gob.mx/salud/documentos/im.

Secretaría General de Gobierno. 2018. *Ley de Movilidad del Estado de Aguascalientes.* México: Secretaría General de Gobierno. https://eservicios2.aguascalientes.gob.mx/NormatecaAdministrador/archivos/EDO-18-141.pdf.

# Índice de figuras

1. Comportamiento de conductores . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 23

2. Recursos iniciales insuficientes . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 24