

Incentivos para cooperar entre individuos fumadores: un  
análisis desde la Teoría de Juegos

Elaborado por: Ana Karina Velasco González

Director: Flavio Hernando Jácome Liévano

12 de diciembre de 2018

# Índice general

1.	Resumen . . . . .	2
2.	Introducción . . . . .	3
3.	Marco teórico . . . . .	5
3.1.	Teoría de Juegos . . . . .	5
3.2.	Tabaquismo . . . . .	6
4.	Modelo de interacción entre personas fumadoras para el análisis de incentivos por cooperación . . . . .	9
4.1.	Modelo base: juego estático entre fumadores . . . . .	9
4.2.	Modelo para establecer condiciones de cooperación: Juego repetido infinitamente . . . . .	11
5.	Modelo para establecer condiciones de permanencia del comportamiento deseado (no fumar) en una población . . . . .	18
6.	Conclusiones y Recomendaciones . . . . .	24

# 1. Resumen

El tabaquismo es la mayor causa de muerte prevenible en el mundo. Con el objetivo de prevenir y evitar sus consecuencias negativas, Colombia adoptó el Convenio Marco para el Control del Tabaco y, posteriormente adoptó otras normativas encaminadas al mismo objetivo. Sin embargo, el impacto del tabaco aún es un problema considerable.

El objetivo de este trabajo consiste en aportar elementos que contribuyan a apoyar la adopción de políticas públicas relacionadas con la prevención y tratamiento del problema del tabaquismo, utilizando herramientas de la teoría de juegos. Para tal efecto se analizan comportamientos individuales de cooperación desde la óptica de la teoría de juegos no cooperativos y se analizan comportamientos agregados utilizando la teoría de juegos evolutivos.

Los resultados del trabajo sugieren que las políticas públicas sanitarias contra el tabaquismo deben dirigirse a prevenir altos niveles de adicción de los fumadores e intervenir a los que ya lo presentan.

## 2. Introducción

El consumo de tabaco es la principal causa de muerte prevenible en todo el mundo y provoca el deceso de más de 7 millones de personas al año, de las cuales, el 70% de las muertes prematuras se produce en países de bajos y medianos ingresos (OMS, 2017a). Según la Organización Mundial de la Salud más de 600.000 muertes son ocasionadas por la exposición al humo del tabaco en personas no fumadoras (fumadores pasivos)(OMS, 2017b).

En Colombia alrededor de 4 millones de adultos presentan el hábito de fumar y más de 26.000 personas mueren anualmente debido a enfermedades asociadas al uso del tabaco (Drope and Schluger, 2018); ya hace más de dos décadas que es considerada una epidemia a nivel mundial. Por esta razón la OMS creó el Convenio Marco para el Control del Tabaco (CMCT) en el año 2003, con el cual se busca proteger a la población de todas las consecuencias negativas que genera el consumo de tabaco o la exposición al humo del tabaco (OMS, 2003).

En el año 2017 la Organización Mundial de la Salud otorgó a Colombia el premio del día mundial sin tabaco, por sus esfuerzos en la aplicación del CMCT, los cuales se han reflejado en la reducción del 4.6% en la prevalencia del consumo de tabaquismo según el Ministerio de Salud y Protección Social (Morales, 2017). No obstante en la actualidad existen desacatos a la legislación que interfieren con la adopción e implementación del convenio marco, entre las cuales se destaca el irrespeto a los espacios libres de humo, los cuales deben ser protegidos tanto por el gobierno como por cada una de las personas que haga uso de ellos (Duperly et al., 2011)

A comienzos del año 2017 entró en vigencia el nuevo código de policía y convivencia en Colombia, el cual aumentó las multas pecuniarias frente al incumplimiento de la ley antitabaco (ley 1335 del 2009) y amplió la definición de espacio público, dentro del marco de esta

legislación, a todos los inmuebles privados que satisfagan las necesidades colectivas, lo que reduce aún más los espacios disponibles para fumadores (Rivera and Niño, 2009). No obstante es frecuente encontrar personas fumando en andenes, paraderos públicos, parques, etc. La evasión a la norma de espacios 100 % libres de humo implica una afectación directa de los fumadores hacia los no fumadores y transforma a estos los últimos en fumadores pasivos.

Es evidente entonces, que el tabaquismo es un problema complejo que se ha estudiado desde diferentes áreas del conocimiento, generando en algunos casos políticas públicas sanitarias para prevenir y combatir el tabaquismo, bajo la evidencia de estudios de diversa índole (estudios médicos, ambientales, económicos, etc), aunque son pocos los trabajos que apoyan dichas políticas desde la óptica de la teoría de juegos.

Este trabajo de grado tiene como objetivo aportar elementos que apoyen la adopción de políticas públicas relacionadas con el problema del tabaquismo, utilizando dos enfoques diferentes de la teoría de juegos. El primero de ellos permite analizar cuáles son los incentivos que personas fumadoras tendrían para cooperar (no fumar) utilizando elementos teóricos de la teoría de juegos no cooperativos.

El segundo utiliza elementos de la teoría de juegos evolutivos, para indagar las condiciones bajo las cuales un comportamiento no deseado (fumar) podría invadir a la sociedad. Los resultados de estos diferentes enfoques nos permitirán hacer recomendaciones relacionadas con los recursos dirigidos a la población fumadora en el país, además de hacer un aporte analítico mediante el uso de la teoría de juegos en temas relacionados con la salud.

### 3. Marco teórico

#### 3.1. Teoría de Juegos

La teoría de juegos clásica es la modelación matemática de las interacciones estratégicas entre individuos o jugadores que se encuentran en una situación de conflicto o cooperación, a lo cual se denominará como un “juego”. Existe una gran variedad de juegos, los cuales pueden clasificarse en “juegos cooperativos”, si existe comunicación vinculante entre los jugadores previa a la realización del juego y los “no cooperativos”, en los cuales no hay acuerdos vinculantes antes de que suceda el juego.

Los elementos básicos de un juego son: los jugadores (mínimo dos jugadores que interactúan), las estrategias, las acciones y las instituciones; este enfoque analítico supone que las personas (jugadores) son perfectamente racionales (Osborne et al., 2004).

La determinación de las condiciones bajo las cuales las personas fumadoras podrían adoptar comportamientos cooperativos (no fumar) se apoya analíticamente en una clase de juegos dinámicos, llamada “juegos repetidos”, que son juegos extensivos en donde dos jugadores repiten el mismo “juego de etapa”(juego estático) finita o infinitamente. Los incentivos son iguales en cada etapa, por lo que la estrategia de ambos jugadores será obtener mayor utilidad, pero teniendo en cuenta las consecuencias de su elección sobre el otro jugador, ya que en la siguiente ronda el podrá castigarlo, eligiendo una estrategia con menor utilidad para ambos (Osborne et al., 2004).

Por otra parte el análisis de la posibilidad de que un comportamiento no deseado (fumar) invada al resto de la sociedad, se apoya en la teoría de juegos evolutivos.

Como se mencionó, la teoría de juegos clásica estudia las interacciones entre individuos perfectamente racionales. Sin embargo este fuerte supuesto es reemplazado por el supuesto de “racionalidad limitada” en el contexto de la teoría de juegos evolutivos, en la que un grupo de jugadores podría escoger ocasionalmente la estrategia no deseada (fumar). Además, los jugadores podrían adaptarse, evolucionar y aprender, lo que implica una visión dinámica del comportamiento de la población (Abramson, 2006).

La teoría de juegos evolutivos tiene como objetivo identificar una Estrategia Evolutivamente Estable (EEE), la cual se entiende como aquella estrategia adoptada por una proporción de la población que podría rechazar la invasión de una estrategia diferente o mutante adoptada por otra proporción de la población; aunque es posible que en algunos juegos no se halle una EEE (Bowles, 2009).

### **3.2. Tabaquismo**

El tabaquismo se considera como una enfermedad adictiva crónica, debido a que la nicotina es la sustancia responsable de la adicción a los productos derivados del tabaco. La nicotina es considerada además como una sustancia que genera mayor nivel de adicción que la heroína y la cocaína, debido a que alcanza el Sistema Nervioso Central en menos de 10 segundos y por su tamaño de partícula es capaz de traspasar la barrera hematoencefálica y placentaria (Ascanio et al., 2009).

El tema de la adicción a la nicotina implica necesariamente hablar de la tolerancia a la nicotina, del síndrome de abstinencia a la nicotina (síntomas: irritabilidad, somnolencia, fatiga, trastorno del sueño, etc.) y el consumo compulsivo de la nicotina, a pesar de conocer las consecuencias negativas sobre la salud (Otero and Ayesta, 2004).

El departamento de salud de Estados Unidos en 1990 reveló que el 70% de los fumadores desea dejar de fumar, pero solo el 3% (al año) lo logra sin ayuda (General, 1990). Este hallazgo encuentra explicación en la triple dependencia al tabaquismo (Ascanio et al., 2009):

- Dependencia física, es la responsable del síndrome de abstinencia y es generada por la nicotina, la cual es una sustancia química tipo alcaloide que alcanza y estimula en menos de 10 segundos el cerebro, causando la liberación de dopamina (neurotransmisor que genera una respuesta de placer)
- Dependencia psicológica, se debe a la asociación de una serie de estímulos ambientales con el acción de fumar. los estímulos ambientales pueden generarse por circunstancias emocionales (estrés), también pueden relacionarse con ciertos lugares como bares, balcones etc.
- Dependencia social, pues tiende a consumirse en grupo, en reuniones con amigos, y entre los adolescentes busca expresar rebeldía, madurez y reconocimiento social.

A nivel mundial el tabaquismo provoca el deceso de más de 7 millones de personas al año, de las cuales 1 millón son fumadores pasivos (OMS, 2017b). En Colombia el tabaquismo cobra 32.000 vidas al año y las enfermedades relacionadas con el tabaquismo en el país las lideran las enfermedades respiratorias, cardíacas y el cáncer (Pichon-Riviere et al., 2013).

El costo por la carga de enfermedad atribuible al tabaquismo en el sistema sanitario colombiano supera los 4 billones de pesos colombianos al año y los impuestos al tabaco solo logran recuperar el 10% de este gasto. También se pierden 674.849 Años de Vida Ajustados por Calidad (AVAC) cada año en el país debido al tabaquismo (Pichon-Riviere et al., 2013).

En cuanto al marco normativo, Colombia desde el 2009 adoptó el Convenio Marco para el Control del Tabaco a través de la ley 1335 del 2009, conocida también como la ley antitabaco (Rivera and Niño, 2009) y ha estado avanzando en políticas y legislación en pro de prevenir y reducir el consumo del tabaco. El reflejo de estos esfuerzos se halla en las resoluciones 3961 del 2009 y 1309 del 2012, que regulan el empaquetamiento y etiquetado de los productos derivados del tabaco (Pinzón, 2013).

Otra normativa relacionada con el tabaquismo en el país, es la sentencia C-830 del 2010, mediante la cual se prohíbe la venta al menudeo de cigarrillo y otros productos de tabaco. Para el 2016 se aprobaron dos leyes, la 1801 y 1809, donde la primera es el nuevo código de policía y convivencia, que restringió los espacios disponibles para fumadores y aumentó las multas pecuniarias a su desacato. La segunda hace referencia a la reforma tributaria de ese año, en la cual se autorizó el impuesto escalonado a los productos del tabaco (Zarama Vásquez and Zarama Martínez, 2017) (Jaramillo, 2017).

## 4. Modelo de interacción entre personas fumadoras para el análisis de incentivos por cooperación

Con el fin de establecer las condiciones bajo las cuales las personas fumadoras tendrían incentivos para cooperar (no fumar), es necesario plantear un modelo (juego) de interacción entre ellas. Para tal efecto se plantea primero un juego estático que servirá de base para analizar posteriormente los incentivos que tendrían los fumadores para cooperar (no fumar) en el marco de un juego repetido, que refleja el hecho de que los fumadores pueden encontrarse para interactuar una gran cantidad de veces.

A continuación se presenta la formulación y desarrollo tanto del modelo base de interacción entre fumadores, como el juego repetido.

### 4.1. Modelo base: juego estático entre fumadores

En esta sección se presenta el modelo de interacción entre 2 fumadores que coinciden en un mismo lugar. Ambos deben elegir entre “fumar” ó “no fumar” y ninguno de ellos conoce previamente la elección que ha tomado el otro. Esta situación se modela mediante un juego estático, cuya matriz de pagos o ganancias se presenta en el cuadro 1.

J1 \ J2	Fumar	No Fumar
Fumar	$U1 - CS/2, U2 - CS/2$	$U1 - CS'/2, -CS'/2$
No Fumar	$-CS'/2, U2 - CS'/2$	$BS/2, BS/2$

Cuadro 1: Matriz de pagos del juego entre fumadores

- Si las 2 personas eligen “fumar”, el pago para ambas es el mismo y es igual a:  $U1 - CS/2$  donde  $U$  es la utilidad percibida por fumar y está asociada a la triple dependencia del tabaquismo.  $CS$  es el costo social asociado a cada persona, de todas las externalidades negativas relacionadas con el tabaquismo (muertes prevenibles, costos al sistema de salud, AVACs perdidos, etc) y la industria del tabaco (daño ambiental).

La razón de asignar a cada jugador la mitad del costo social se basa en la consideración de que las externalidades negativas ( $CS$ ) son asumidas conjuntamente por los dos jugadores.

- Si un jugador elige fumar y el otro no, el pago para el primero es  $U1 - CS'/2$  y el pago para el segundo es  $-CS'/2$ , donde:  $U$  es la utilidad percibida por fumar descrita anteriormente y  $CS'$  es el costo social asociado también a las externalidades negativas, pero  $CS' < CS$ , debido a que en esta situación solo uno de los jugadores fuma, por lo cual se asume que las externalidades negativas se causan en menor proporción en relación con el caso que ambos jugadores fuman. El jugador 2 no obtiene utilidad por fumar, pero asume la mitad del costo social  $CS'$ .
- Si ambos jugadores deciden no fumar, el beneficio social conjunto es  $BS$ , el cual refleja las externalidades positivas asociadas a la decisión de ambos jugadores de “no fumar”. Se asume también que este beneficio es igual en magnitud al costo social ( $CS$ ), que se genera cuando ambos jugadores deciden fumar. De manera similar, cada jugador recibe la mitad del beneficio ( $BS/2$ )

Los pagos asignados para cada conjunto de estrategias posibles conllevan el siguiente

orden de preferencias para cada jugador:

$$U1 - \frac{CS'}{2} > \frac{BS}{2} > U1 - \frac{CS}{2} > \frac{-CS'}{2} \quad (1)$$

En el cuadro 2 se presenta ilustrativamente una matriz de pagos que representa este mismo orden de preferencias y que por tanto representa el mismo juego.

J1 \ J2	Fumar	No Fumar
Fumar	1 , 1	3 , 0
No Fumar	0 , 3	2 , 2

Cuadro 2: Matriz de pagos ilustrativa

Se observa que los 2 jugadores estarían mejor sí ambos cooperan (no fumar). Sin embargo, la predicción sobre cuales son las acciones óptimas (el Equilibrio de Nash) es que ambos eligen fumar. En este juego no se logra el “óptimo social”, debido a que se comporta de manera similar al “Dilema de los prisioneros”

## 4.2. Modelo para establecer condiciones de cooperación: Juego repetido infinitamente

Si los fumadores coinciden pocas veces; es decir, si el juego base planteado en el cuadro 1 e ilustrado en el cuadro 2 se repitiera  $T$  veces, donde  $T$  es un número finito, no sería posible lograr la cooperación (ambos jugadores eligen no fumar), porque bajo el supuesto de racionalidad perfecta, en este juego repetido finitamente los jugadores siempre van a elegir el equilibrio de Nash del juego base o juego de etapa (ambos eligen fumar).

Sin embargo, sí los fumadores se encuentran una gran cantidad de veces, sería posible mantener un acuerdo de cooperación (ambos eligen no fumar) bajo la presunción de que si el acuerdo se incumple, los jugadores podrían castigarse eligiendo una estrategia que les reporte menor ganancia.

La teoría de juegos no cooperativos aporta herramientas para modelar esta situación mediante el análisis de un juego repetido infinitamente. y permite establecer las condiciones bajo las cuales los jugadores podrían mantener la cooperación cuando se repite infinitamente el juego base planteado en el cuadro 1.

La estrategia planteada es la siguiente: “Los 2 jugadores comienzan cooperando (ambos eligen no fumar). Si en algún momento  $T$ , alguno de ellos se desvía de la cooperación, entonces a partir de  $T + 1$  no vuelven a cooperar y se castigan jugando el equilibrio de Nash del juego de etapa, hasta el infinito. Esta estrategia se conoce como “estrategia del gatillo o del disparador”.

Dado que en cada etapa (cada vez que los jugadores coinciden) hay pagos para cada jugador, el análisis exige considerar un factor de descuento ( $\delta$ ) que permita traer valores futuros a valor presente, de manera similar a lo que se hace en el ámbito financiero, en donde:

$$\delta = \frac{1}{1 + r} \tag{2}$$

siendo  $r$  la tasa de interés. por definición  $0 \leq \delta \leq 1$ . El factor de descuento  $\delta$  también se puede interpretar como una medida del grado de “paciencia” ó de “impaciencia” de

los jugadores. Cuando  $\delta$  es más cercano a 1 ( $r$  tiende a 0), los jugadores son más pacientes y cuando  $\delta$  es más cercano a 0 ( $r$  es grande), los jugadores son más impacientes.

En el marco de este trabajo se adopta este enfoque y se asume que :

$$\delta = \frac{1}{1+d} \quad (3)$$

Donde  $d$  será el grado de dependencia ó adicción al tabaco de cada fumador. De esta manera , sí  $d$  tiende a 0, el jugador es más paciente; es decir, que es indiferente entre decidir fumar hoy ó mañana ( $\delta \rightarrow 1$ ). Por otra parte, sí el grado de adicción  $d$  crece ( $\delta \rightarrow 0$ ), el jugador es impaciente. Es decir, preferirá fumar hoy que aplazar la decisión para después.

Cuando ambos jugadores adoptan la estrategia del gatillo, cualquiera de los dos debe analizar dos posibles escenarios:

- a) Cuál sería el Valor Presente (VP) de sus pagos sí colabora siempre sin desviarse del acuerdo.
- b) Cuál sería el Valor Presente (VP) de sus pagos sí decidiera desviarse del acuerdo en algún momento  $T$ , sabiendo que a partir de  $T+1$  se castigan jugando el equilibrio de Nash del juego de etapa.

A continuación se presenta el cálculo del VP de los 2 escenarios mencionados, utilizando, para fines ilustrativos la matriz de pagos presentada en el cuadro 2.

- a) Si ningún jugador se desvía en un momento  $T$  del acuerdo de cooperación, el valor

presente de sus pagos en T, es:

$$VP_{\text{Cooperar},T} = 2 + 2\delta + 2\delta^2 + \dots \quad (4)$$

$$= 2 [1 + \delta + \delta^2 + \dots] \quad (5)$$

$$= 2 \left[ \frac{1}{1 - \delta} \right] \quad (6)$$

$$= \frac{2}{1 - \delta} \quad (7)$$

b) Si un jugador  $i$  se desvía de la cooperación en un momento T, el valor presente de sus pagos en T, es <sup>1</sup>:

$$VP_{\text{No Cooperar},T} = 3 + 1\delta + 1\delta^2 + \dots \quad (8)$$

$$= 3 + \delta [1 + \delta + \delta^2 + \dots] \quad (9)$$

$$= 3 + \left[ \frac{\delta}{1 - \delta} \right] \quad (10)$$

$$= \frac{3 - 2\delta}{1 - \delta} \quad (11)$$

Un jugador  $i$  tendrá incentivos para mantener el acuerdo de cooperación, si:

$$VP_{\text{Cooperar},T} \geq VP_{\text{No Cooperar},T} \quad (12)$$

Es decir, si:

$$\frac{2}{1 - \delta} \geq \frac{3 - 2\delta}{1 - \delta} \quad (13)$$

---

<sup>1</sup>Los valores presentes em ambos escenarios se calculan a partir de T, porque desde el inicio hasta T-1 los pagos en ambos casos son iguales.

Esta desigualdad se cumple si:

$$\delta \geq \frac{1}{2} \tag{14}$$

Es decir si el jugador es más paciente, está dispuesto a mantener el acuerdo de cooperación, pero si es menos paciente, preferiría desviarse en algún momento  $T$ .

En general se obtiene como resultado: Sí  $\delta \rightarrow 1$ , se mantiene la cooperación y Sí  $\delta \rightarrow 0$ , no es posible mantener la cooperación.

Como  $\delta \rightarrow 1$  cuando  $d \rightarrow 0$ , esto significa que un jugador está más dispuesto a cooperar, si su nivel de adicción es bajo. En cambio, si el nivel de adicción es alto, es muy posible que no esté dispuesto a cooperar.

Para complementar el análisis, se presenta nuevamente un juego repetido infinitamente en el que la estrategia de castigo es diferente a la anterior. Esta estrategia se conoce como “Garrote y zanahoria” y se plantea de la siguiente manera: Los dos jugadores comienzan cooperando (no fumar). Si en algún momento  $T$ , alguno de los jugadores se desvía del acuerdo de cooperación, entonces se castigan durante dos periodos eligiendo el equilibrio de Nash, y a partir de  $T+3$  vuelven a cooperar hasta el infinito.

Igual que en la “estrategia del disparador”, el análisis requiere tener en cuenta el factor de descuento ( $\delta$ ), reemplazando la tasa de interés  $r$  por el grado de dependencia  $d$  (ver ecuaciones 2 y 3). El objetivo de evaluar esta estrategia es comparar los resultados con la estrategia del gatillo y hallar similitudes o diferencias en los comportamientos entre fumadores en ambos escenarios.

Si ambos jugadores adoptan la estrategia "garrote y zanahoria", cualquiera de los dos jugadores debe considerar 2 escenarios posibles:

- a) Cuál sería el Valor Presente (VP) de sus pagos si colabora siempre sin desviarse del acuerdo.
- b) Cuál sería el Valor Presente (VP) de sus pagos si decidiera desviarse del acuerdo en el momento T, conociendo que en T+1 y T+2 se castigan jugando el equilibrio de Nash del juego de etapa y que en T+3 regresan al acuerdo de cooperación hasta el infinito.

Se presenta entonces, el cálculo del VP de los dos escenarios ya mencionados, utilizando la matriz del cuadro 2, para fines ilustrativos:

- a) Si ningún jugador se desvía en el periodo T del acuerdo de cooperación, el valor presente de sus pagos es:

$$VP_{\text{Cooperar},T} = 2 + 2\delta + 2\delta^2 + 2\delta^3 \dots + \infty \quad (15)$$

- b) Si un jugador  $i$  se desvía del acuerdo de cooperación en T, el valor presente de sus pagos en T es:

$$VP_{\text{No Cooperar},T} = 3 + 1\delta + 1\delta^2 + 2\delta^3 + \dots + \infty \quad (16)$$

El jugador  $i$  tendrá incentivos para mantener la cooperación, si:

$$VP_{\text{Cooperar},T} \geq VP_{\text{No Cooperar},T} \quad (17)$$

Es decir, si:

$$2 + 2\delta + 2\delta^2 + 2\delta^3 \geq 3 + \delta + \delta^2 + 2\delta^3 \quad (18)$$

$$2 + 2\delta + 2\delta^2 + 2\delta^3 \geq 3 + \delta + \delta^2 + 2\delta^3 \quad (19)$$

$$2 + 2\delta + 2\delta^2 \geq 3 + \delta + \delta^2 \quad (20)$$

$$\delta + \delta^2 \geq 1 \quad (21)$$

$$\delta^2 + \delta - 1 \geq 0 \quad (22)$$

Esta desigualdad se cumple si

$$\delta \geq 0,618 \quad (23)$$

Aunque el resultado es diferente cuantitativamente al de la estrategia del gatillo, el resultado general es similar, lo que confirma que sí un jugador tiene un bajo nivel de dependencia al tabaquismo ( $d \rightarrow 0$ ), el factor de descuento es cercano a 1 ( $\delta \rightarrow 1$ ), por lo tanto el jugador es mas paciente y está dispuesto a mantener un acuerdo de cooperación.

En el caso que un jugador tenga un alto nivel de dependencia al tabaquismo ( $d$  es alto), el factor de descuento es cercano a 0 ( $\delta \rightarrow 0$ ), lo que indica que el jugador es impaciente y no será posible mantener un acuerdo de cooperación. Este resultado refuerza el resultado en la estartegia del gatillo.

## 5. Modelo para establecer condiciones de permanencia del comportamiento deseado (no fumar) en una población

En este segundo enfoque se supone una población que en su mayoría está constituida por personas con un comportamiento “normal” (no fumar) y una fracción de la población  $\epsilon > 0$  que presenta un comportamiento “no deseado” ó “mutante” (fumar). La pregunta que se aborda en este enfoque consiste en determinar si el comportamiento no deseado podría invadir a la población y bajo qué condiciones esto podría suceder. La teoría de juegos evolutivos aporta una herramienta para hacer este análisis (Bowles, 2009).

La teoría propone que el comportamiento no deseado (fumar) no invadirá a la población, si  $\epsilon$  es lo suficientemente pequeño. En el Cuadro 3 se presenta la matriz de adaptación de esta situación, similar a la matriz de pagos de un juego estático, ya que hay dos jugadores o dos grupos de población que pueden elegir entre dos estrategias que están ligadas a un comportamiento normal (no fumar) y a un comportamiento mutante o no deseado (fumar).

J1 \ J2	Normal [ $1 - \epsilon$ ]	Mutante [ $\epsilon$ ]
Normal [ $1 - \epsilon$ ]	F[N,N] , F[N,N]	F [N,M] , F[M,N]
Mutante [ $\epsilon$ ]	F[M,N], F[N,M]	F[M,M] , F[M,M]

Cuadro 3: Matriz de adaptación

Donde:

- N es la estrategia normal (no fumar)
- M es la estrategia mutante o no deseada (fumar)
- $\epsilon$  es la proporción de la población que presenta el comportamiento no deseado. También representa la probabilidad de que una persona adopte el comportamiento no deseado (fumar)
- $1 - \epsilon$  es la proporción de la población que presenta el comportamiento deseado (no fumar). También representa la probabilidad de que una persona adopte el comportamiento deseado (no fumar)
- $F(x,y)$  es el pago para que una persona cuando esta adopta la estrategia  $x$  y la otra adopta la estrategia  $y$ .

Los pagos de la matriz de adaptación reflejan la capacidad reproductiva de cada comportamiento (normal y mutante). Cada estrategia está ligada a una probabilidad  $\epsilon$  de encontrarse a otro jugador con el comportamiento mutante y  $1 - \epsilon$  de enfrentarse a un jugador con comportamiento normal.

Entonces, la condición para repeler una invasión de un comportamiento no deseado ó mutante, está dada por el hecho de que los jugadores con comportamientos mutantes sean menos aptos (capacidad de reproducir el comportamiento) que los jugadores con comportamientos normales (Bowles, 2009)

Para ello se debe calcular el Valor Esperado (E) de la estrategia normal y de la estrategia mutante para cada jugador  $i$ , como se muestra a continuación:

$$E_{\text{Normal}} = (1 - \epsilon) F(N, N) + \epsilon F(N, M) \quad (24)$$

$$E_{\text{Mutante}} = (1 - \epsilon) F(M, N) + \epsilon F(M, M) \quad (25)$$

Para que el comportamiento normal sea evolutivamente estable (EE) se requiere que el valor esperado del comportamiento normal sea mayor al valor esperado del comportamiento mutante; es decir:

$$(1 - \epsilon) F(N, N) + \epsilon F(N, M) > (1 - \epsilon) F(M, N) + \epsilon F(M, M) \quad (26)$$

De esta manera, el comportamiento normal es una estrategia EE respecto al comportamiento mutante, si:

$$\epsilon F(M, M) + (1 - \epsilon) F(M, N) - [\epsilon F(N, M) + (1 - \epsilon) F(N, N)] < 0 \quad (27)$$

Esta desigualdad se cumple si y solo si alguno de los siguientes casos se cumple:

Caso A:

reordenando la desigualdad de la ecuación 27, se obtiene:

$$\epsilon F(M, M) + F(M, N) - \epsilon F(M, N) - \epsilon F(N, M) - F(N, N) + \epsilon F(N, N) < 0 \quad (28)$$

$$\epsilon [F(M, M) - F(M, N) - F(N, M) + F(N, N)] + F(M, N) - F(N, N) < 0 \quad (29)$$

Dado que  $\epsilon$  es muy pequeño, esta última desigualdad se cumple si:

$$F(N, N) > F(M, N) \quad (30)$$

Caso B: Si  $F(N, N) = F(M, N)$ , la desigualdad de la ecuación 29 sería:

$$F(N, N) - F(M, N) - F(N, M) + F(N, N) < 0 \quad (31)$$

Lo que implica:

$$F(M, M) < F(N, M) \quad (32)$$

Después de establecer las condiciones para que un comportamiento normal sea evolutivamente estable (EE), se aplica el análisis utilizando los pagos de la matriz de adaptación del modelo base, como se presenta en el siguiente cuadro:

J1 \ J2	Fumar ( $\epsilon$ )	No Fumar ( $1 - \epsilon$ )
Fumar ( $\epsilon$ )	U1 - CS/2 , U2 - CS/2	U1 - CS'/2 , -CS'/2
No Fumar ( $1 - \epsilon$ )	-CS'/2 , U2 - CS'/2	BS/2 , BS/2

Cuadro 4: Matriz de adaptación del modelo base

Dado que en la matriz de adaptación del modelo base  $F(N, N)$  es diferente a  $F(M, N)$ , entonces el caso B no aplica en este análisis. Por esta razón, para analizar la estabilidad evolutiva, se debe establecer las condiciones bajo las cuales sucede el caso A, reemplazando

los pagos de la desigualdad en la ecuación 29 por los pagos de la matriz de adaptación del modelo base (Cuadro 4):

$$\frac{BS}{2} - U1 + \frac{CS'}{2} > \epsilon \left[ U1 - \frac{CS}{2} - U1 + \frac{CS'}{2} + \frac{CS'}{2} + \frac{BS}{2} \right] \quad (33)$$

$$\frac{BS}{2} - U1 + \frac{CS'}{2} > \epsilon \left[ CS' + \frac{BS}{2} - \frac{CS}{2} \right] \quad (34)$$

el caso A implica:

$$\epsilon < \frac{BS + CS' - 2U}{2CS'} \quad (35)$$

Para que  $\epsilon$  (proporción de la población que tiene el comportamiento no deseado) sea pequeño, el numerador de la desigualdad (36) debe tender a 0; es decir:

$$BS + CS' - 2U \rightarrow 0 \quad (36)$$

Dado que  $CS = BS$ , entonces:

$$2U \rightarrow CS + CS' \quad (37)$$

$$U \rightarrow \frac{CS + CS'}{2} \quad (38)$$

Se encuentra entonces, que no fumar es una EEE si la utilidad percibida por fumar se acerca a los costos sociales que debe asumir cada jugador. Esta condición asegura que el comportamiento no deseado no se replique exitosamente, en la proporción de la población que tiene el comportamiento deseado.

La utilidad por fumar esta relacionada con la triple dependencia al tabaquismo, por

lo que en general los costos sociales no son cercanos a la utilidad percibida por fumar. Para que la utilidad de un fumador se acerque a los costos sociales que él debe asumir (condición para que el comportamiento no deseado se replique), se deben destinar recursos para aumentar el nivel de conscientización sobre los costos sociales asociados al tabaquismo. De esta manera, se lograría prevenir altos niveles de dependencia en los ya fumadores y que una parte de la población altamente dependiente logre disminuir los niveles de dependencia ó la cesación del tabaquismo.

Este resultado refuerza le resultado obtenido en el primer enfoque de juegos repetidos.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

El modelo base, bajo el esquema de juegos repetidos, sugiere que los jugadores podrían mantener la cooperación, según su grado de dependencia al tabaquismo, lo que implica que los fumadores con un alto nivel de dependencia requieren de otros incentivos facilitados desde la política y salud pública para lograr la cooperación. y dicha política debería también, destinar recursos para que las personas con un bajo nivel de dependencia al tabaquismo alcancen altos niveles de dependencia.

los resultados desde la óptica de juegos evolutivos sugieren que el tabaquismo no invadirá una población, mientras la utilidad por fumar se equipare al costo social que debe asumir cada jugador y esto también guarda relación con el grado de dependencia al tabaquismo, ya que si la utilidad percibida por fumar sobrepasa en gran medida a los costos sociales que se deben asumir, entonces la estrategia mutante (fumar) terminará invadiendo a la población.

Por lo anterior, se refuerza la propuesta que los recursos y estrategias en contra del tabaquismo deberían dirigirse a prevenir el consumo de tabaco en no fumadores, y evitar que las personas que ya son fumadoras alcancen un alto grado de dependencia.

Para investigaciones futuras se propone validar los resultados de los modelos propuestos como métodos de economía experimental ó con base de datos disponibles de tabaquismo.

# Bibliografía

- Abramson, G. (2006). Introducción a la teoría de juegos. *México: Centro Atómico Bariloche, Instituto Balseiro.*
- Ascanio, S., Barrenechea, C., De León, M., García, T., Gómez, E., Gonzalez, G., et al. (2009). Manual nacional de abordaje del tabaquismo: en el primer nivel de atención.[internet]. OPS. OMS. PRONACCAN Disponible en: [http://www.comepa.com.uy/escuela/pluginfile.php/666/mod\\_resource/content/1/ManualPNA\\_2009.pdf](http://www.comepa.com.uy/escuela/pluginfile.php/666/mod_resource/content/1/ManualPNA_2009.pdf).
- Bowles, S. (2009). *Microeconomics: behavior, institutions, and evolution.* Princeton University Press.
- Drope, J. and Schluger, N. (2018). *TOBACCO ATLAS.* MCGRAW-HILL EDUCATION, S.l.
- Duperly, J., Sarmiento, O., Parra, D., Angarita, C., Rivera, D., Granados, C., and Donado, C. (2011). Documento técnico con los contenidos de direccionamiento pedagógico para la promoción de hábitos de vida saludable, con énfasis en alimentación saludable y el fomento de ambientes 100 % libres de humo de cigarrillo a través de la práctica regular de la actividad física cotidiana, dirigidos a los referentes de las entidades territoriales. *Bogotá, Colombia*, page 138.
- General, U. S. (1990). The health benefits of smoking cessation. *Washington: Department of Health and Human Services.*

- Jaramillo, S. R. (2017). Ley 1801 de 2016 por la cual se expide el código nacional de policía y convivencia. *Nuevo Foro Penal*, (88):273–283.
- Morales, J. (2017). Ops/oms colombia - la ops/oms entrega reconocimiento a colombia por del día mundial sin tabaco 2017 — ops/oms.
- OMS (2003). *Convenio marco de la OMS para el control del tabaco*. Organización Mundial de la Salud.
- OMS (2017a). Who report on the global tobacco epidemic, 2017: monitoring tobacco use and prevention policies.
- OMS (2017b). Who report on the global tobacco epidemic, 2017: monitoring tobacco use and prevention policies: executive summary.
- Osborne, M. J. et al. (2004). *An introduction to game theory*, volume 3. Oxford university press New York.
- Otero, M. and Ayesta, F. (2004). El tabaquismo como trastorno adictivo. *Trastornos adictivos*, 6(2):78–88.
- Pichon-Riviere, A., Bardach, A., Alcaraz, A., Caporale, J., Augustovski, F., Peña Torres, E., Osorio, D., Pérez-Acevedo, J., Gamboa-Garay, O., and Gamboa-Garay, C. (2013). Carga de enfermedad atribuible al tabaquismo en colombia. *Buenos Aires, Argentina: Instituto de Efectividad Clínica y Sanitaria*.
- Pinzón, L. V. C. (2013). Avaliação de etiquetagem e embalagens de produtos de tabaco na colômbia: principais desafios jurídicos no processo de implementação da medida. *Revista de Direito Sanitário*, 13(3):176–223.
- Rivera, D. E. and Niño, A. (2009). Abc de la ley antitabaco (ley 1335 de 2009). *Bogotá: Ministerio de Salud*.

Zarama Vásquez, F. and Zarama Martínez, C. (2017). Reforma tributaria comentada ley 1819 de 2016.