



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD CIENCIAS POLÍTICAS Y ADMINISTRATIVAS**  
**CARRERA DE ECONOMÍA**

El comportamiento de los usuarios de la carretera: Un análisis mediante la  
Teoría de Juegos.

**Trabajo de titulación para optar al título de**  
**ECONOMISTA**

**Autor:**

William Javier Tuza Chisag

**Tutor:**

Econ. Eduardo Zurita

**Riobamba, Ecuador 2023.**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA

Yo, William Javier Tuza Chisag, con cédula de ciudadanía 1850094044, autor del trabajo de investigación titulado: “EL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DE LA CARRETERA: UN ANÁLISIS MEDIANTE LA TEORÍA DE JUEGOS”, certifico que la producción, ideas, opiniones, criterios, contenidos y conclusiones expuestas son de mí exclusiva responsabilidad.

Asimismo, cedo a la Universidad Nacional de Chimborazo, en forma no exclusiva, los derechos para su uso, comunicación pública, distribución, divulgación y/o reproducción total o parcial, por medio físico o digital; en esta cesión se entiende que el cesionario no podrá obtener beneficios económicos. La posible reclamación de terceros respecto de los derechos de autor de la obra referida será de mi entera responsabilidad; librando a la Universidad Nacional de Chimborazo de posibles obligaciones.

En Riobamba, 31 de octubre del 2023.



---

William Javier Tuza Chisag

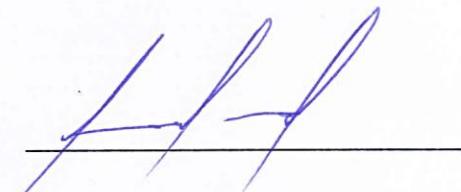
**Autor**

C.I:1850094044

**DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.**

Quien suscribe, Eco. Eduardo Zurita Moreano. Ms.C catedrático adscrito a la Facultad de Ciencias Políticas y Administrativas, por medio del presente documento certifico haber asesorado y revisado el desarrollo del trabajo de investigación titulado: **“EL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DE LA CARRETERA: UN ANÁLISIS MEDIANTE LA TEORÍA DE JUEGOS”**, bajo la autoría de William Javier Tuza Chisag; por lo que se autoriza ejecutar los trámites legales para su sustentación.

Es todo cuanto informar en honor a la verdad; en Riobamba, a los 6 días del mes de noviembre del 2023.



Eco. Eduardo Zurita Moreano. Ms.C

**Tutor**

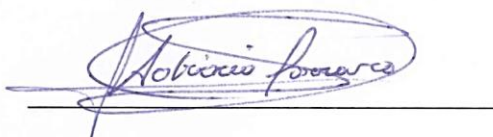
## CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL

Quienes suscribimos, catedráticos designados Miembros del Tribunal de Grado para la evaluación del trabajo de investigación EL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DE LA CARRETERA: UN ANÁLISIS MEDIANTE LA TEORÍA DE JUEGOS., presentado por William Javier Tuza Chisag, con cédula de identidad número 1850094044, bajo la tutoría del Econ. Eduardo Zurita Moreano; certificamos que recomendamos la APROBACIÓN de este con fines de titulación. Previamente se ha evaluado el trabajo de investigación y escuchada la sustentación por parte de su autor; no teniendo más nada que observar.

De conformidad a la normativa aplicable firmamos, en Riobamba, 6 de noviembre del 2023.

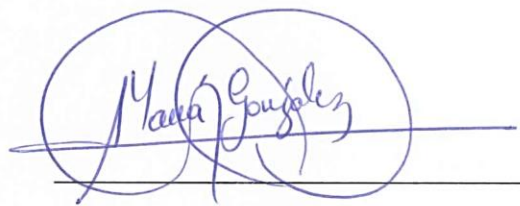
Econ. Verónica Carrasco Salazar

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Econ. Gabriela González Bautista

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**



Econ. Diego Logroño León

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL DE GRADO**





Dirección  
Académica  
VICERRECTORADO ACADÉMICO

*en movimiento*



UNACH-RGF-01-04-08.15  
VERSIÓN 01: 06-09-2021

# CERTIFICACIÓN

Que, **TUZA CHISAG WILLIAM JAVIER** con CC: **1850094044**, estudiante de la Carrera **ECONOMÍA**, Facultad de **CIENCIAS POLÍTICAS Y ADMINISTRATIVAS**; ha trabajado bajo mi tutoría el trabajo de investigación titulado " **EL COMPORTAMIENTO DE LOS USUARIOS DE LA CARRETERA: UN ANÁLISIS MEDIANTE LA TEORÍA DE JUEGOS**", cumple con el **1%**, de acuerdo al reporte del sistema Anti plagio **URKUND**, porcentaje aceptado de acuerdo a la reglamentación institucional, por consiguiente, autorizo continuar con el proceso.

Riobamba, 25 de octubre del 2023

  
Econ. Eduardo German Zurita Moreano  
**TUTOR**

## **DEDICATORIA**

En el camino hacia la culminación de este proyecto, quiero dedicar este logro a la perseverancia, la dedicación y la pasión que me han impulsado a superar cada obstáculo. A través de horas de investigación y reflexión, he demostrado mi capacidad de compromiso y mi deseo de contribuir al conocimiento.

Que esta tesis sea un testimonio de mi crecimiento, aprendizaje y determinación. Que sirva como recordatorio de que, con esfuerzo y confianza en mí mismo, puedo alcanzar cualquier meta que me proponga. Y con ello, acentuar la base para que dos estimadas y queridas mujeres Liz y Keyli crezcan en conocimiento.

Con gratitud y orgullo,

Wild

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por haberme dado una nueva oportunidad de vida y darme fuerza para no permitir que las adversidades acaben con mi existencia y gracias a ello poder darle continuidad a mi proceso académico.

A mis padres y mejores amigos Alfredo y Rosa por nunca dejar de creer en mí, ya que a pesar de la distancia han sabido ser ese motor y apoyo incondicional en mi vida. A mi amada abuelita Mariana, quien ha desempeñado el rol de madre a lo largo de todos estos años. Su legado de buenos valores, principios y costumbres ha sido una guía invaluable en mi vida. Que se ven reflejados en cada logro. Por último, quiero dedicar un espacio especial a la memoria de mi querido primo Carlitos, ya que cada meta alcanzada, lleva consigo un pedacito de su legado.

En esta tesis, plasmo el resultado de años de esfuerzo y dedicación, y cada página lleva impresa la influencia y el apoyo de cada uno de ustedes.

Con gratitud sincera y amor inmenso.

## INDICE GENERAL

DECLARATORIA DE AUTORÍA.....	
CERTIFICADO DE LOS MIEMBROS DEL TRIBUNAL .....	
DICTAMEN FAVORABLE DEL PROFESOR TUTOR.....	
CERTIFICADO ANTIPLAGIO .....	
DEDICATORIA.....	
AGRADECIMIENTO .....	
ÍNDICE DE TABLAS.....	
ÍNDICE DE GRAFICAS .....	
RESUMEN .....	
ABSTRACT .....	
CAPÍTULO I.....	13
1. MARCO REFERENCIAL.....	13
1.1 INTRODUCCIÓN .....	13
1.2 ANTECEDENTES .....	14
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	17
1.4 JUSTIFICACIÓN .....	19
1.5 OBJETIVOS .....	20
1.5.1 Objetivo general .....	20
1.5.2 Objetivos específicos.....	20
CAPÍTULO II.....	21
2. MARCO TEÓRICO .....	21
2.1 Teoría de Juegos .....	21
2.1.1 Elementos de un juego .....	21
2.1.1.1 Jugadores.....	22
2.1.1.2 Estrategias .....	22
2.1.1.3 Ganancias.....	22
2.1.1.4 Reglas.....	22
2.1.2 Representación de un juego.....	22
2.1.2.1 Normal .....	22
2.1.2.2 Extensiva.....	24
2.1.3 Tipos o enfoques de juegos .....	26
2.1.3.1 Juegos cooperativos y no cooperativos.....	26



2.1.3.2	Juegos no cooperativos .....	26
2.1.4	Tipos de estrategias .....	28
2.1.4.1	Estrategias dominantes y dominadas .....	28
2.1.4.2	Estrategias minimax y maximin .....	29
2.1.4.3	Estrategias puras .....	29
2.1.4.4	Estrategias mixtas .....	29
2.1.5	Equilibrios .....	30
2.1.5.1	Equilibrio de Nash en estrategias puras .....	30
2.1.5.2	Equilibrio de Nash en estrategias mixtas .....	30
2.1.5.3	Equilibrio de Pareto .....	30
2.1.6	Modelos de teoría de juegos.....	30
2.1.6.1	Halcón paloma .....	30
2.1.6.2	Dilema del prisionero.....	31
2.1.6.3	Guerra de los sexos .....	31
2.1.7	Teoría paramétrica de la elección racional.....	31
2.1.7.1	Acciones de los jugadores en la teoría paramétrica de la elección racional 32	
2.1.7.2	Equilibrio de la teoría paramétrica de la elección racional. ....	33
2.2	Comportamiento de los conductores en la carretera.....	34
2.2.1	Leyes para disminuir exceso de velocidad de los conductores. ....	35
2.2.3	Comportamiento de los choferes en las carreteras .....	36
2.2.4	Conducta de conducción agresiva .....	37
2.2.5	¿Cuáles son las causas de la conducción agresiva?.....	38
2.2.6	Tráfico vehicular.....	39
2.2.7	Consecuencias económicas ocasionados por el tráfico vehicular .....	40
2.2.8	Principales consecuencias del comportamiento del conductor en el tráfico vehicular.....	41
CAPÍTULO III .....		42
3	METODOLOGÍA .....	42
CAPÍTULO IV .....		44
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	44
4.2	Resultados.....	44
4.2.1	Evaluación de siniestros de tránsito en el Ecuador.....	44
4.2.2	Teoría paramétrica de la elección racional .....	45

4.2.3	Un modelo de la teoría del juego del comportamiento del usuario de la carretera y las opciones de cumplimiento. ....	47
4.3	Un ejemplo con pagos en valores monetarios.....	51
4.3.1	Implicaciones del modelo.....	54
4.3.2	Imponer sanciones más estrictas no afectará el comportamiento de los usuarios de la vía.....	54
4.4	Discusión.....	56
CAPÍTULO V .....		58
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	58
5.1	Conclusiones.....	58
5.2	Recomendaciones .....	59
6	REFERENCIAS.....	61

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Pagos al conductor del automóvil por exceso de velocidad y por no exceso de velocidad en función de la presencia o ausencia de la policía.....	46
Tabla 2.	El juego de la aplicación. Pagos a los conductores de automóviles y ejecutores de diferentes combinaciones de infracciones de control y velocidad .....	48
Tabla 3.	El juego de Ejecución con pagos numéricos. ....	52
Tabla 4.	El juego de la aplicación con pagos revisados .....	55

## ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfico 1.	Juego del dilema del prisionero.....	24
Gráfico 2.	Un ejemplo de un árbol en un juego en forma extensiva.....	26
Gráfico 3.	Número de siniestros de tránsito, lesionados y fallecidos en sitio por año de ocurrencia en el Ecuador. Periodo 2015 a septiembre del 2023.....	45
Gráfico 4.	Siniestros de tránsito en el Ecuador, según causa probable de enero a septiembre del 2023.....	46

## RESUMEN

En este proyecto de investigación se utiliza el análisis tradicional de la adaptación de los usuarios de la vía a las normas de tránsito en el Ecuador, basado en la teoría paramétrica de elección racional, para tratar de disuadir a los conductores de cometer contravenciones de tránsito por exceso de velocidad, mediante la aplicación y el cumplimiento de la ley por parte de los agentes policiales. Dicho análisis parte de la premisa de que el tamaño de la sanción y la aplicación de la multa deben estar en función al comportamiento del usuario de la carretera.

Por lo que, mediante la aplicación de la teoría de juegos se presenta un modelo de simulación de dinámica para un juego de estrategias mixtas, que explican el comportamiento entre los conductores y los agentes policiales, considerándolos a estos como agentes racionales que ajustan su comportamiento al de la otra parte. Concluyendo que simplemente aumentar las penalidades (multas) no necesariamente harán que los conductores sean más cautelosos o cumplan más estrictamente las leyes de tránsito y disuadir comportamientos peligrosos y potencialmente ilegales.

**Palabras clave:** Estrategia, cooperación, equilibrio, comportamiento racional, conducción agresiva, equilibrio de Nash.

## ABSTRACT

In this research project, the traditional analysis of the adaptation of road users to traffic rules in Ecuador is used, based on the parametric theory of rational choice, to try to dissuade drivers from committing traffic violations by speeding through the application and compliance of the law by police officers. This analysis is based on the premise that the size of the penalty and the application of the fine should be a function of the road user's behavior.

Therefore, through the application of game theory, a dynamic simulation model is presented for a game of mixed strategies, which explains the behavior between drivers and police officers, considering them as rational agents who adjust their behavior to the situation, concluding that simply increasing penalties (fines) will not necessarily make drivers more cautious or more strictly comply with traffic laws. Because, on their own, they are not enough to determine certain behaviors.

**Keywords:** Strategy, cooperation, balance, rational behavior, aggressive driving, Nash equilibrium.



Reviewed by:  
Mg. Dario Javier Cutiopala Leon  
**ENGLISH PROFESSOR**  
c.c. 0604581066

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO REFERENCIAL

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El comportamiento de los usuarios de las carreteras es un tema de vital importancia para la seguridad vial. A diario, millones de personas toman decisiones mientras conducen, tales decisiones afectan su seguridad personal como la de otros conductores y peatones. Para comprender mejor cómo se desarrolla este comportamiento y cómo influyen las leyes de tránsito en él, se han empleado diversas teorías. En ese contexto, la teoría paramétrica de la elección racional ha sido ampliamente utilizada como un marco teórico para analizar la toma de decisiones de los individuos en situaciones de tráfico. Esta teoría sostiene que los usuarios de las carreteras son seres racionales que evalúan sistemáticamente los costos y beneficios asociados con diferentes opciones al conducir (García, 2004). Es decir, consideran las posibles consecuencias de seguir o violar las leyes de tránsito y toman decisiones en consecuencia.

De tal modo que, la teoría de juegos se presenta como una herramienta adicional para analizar las interacciones estratégicas entre los conductores en el tráfico. La teoría de juegos es una rama de las matemáticas que estudia el comportamiento de individuos racionales en situaciones donde las decisiones de uno afectan las opciones y resultados de otros, y viceversa. Mediante este enfoque, se pueden modelar situaciones de tráfico como juegos en los que los conductores buscan maximizar sus beneficios personales, lo que puede conducir a resultados óptimos o subóptimos para el conjunto de usuarios de la carretera.

El presente trabajo tiene como objetivo explorar el comportamiento de los usuarios de las carreteras mediante el análisis de la teoría de juegos y la teoría paramétrica de la elección racional. Se busca comprender cómo los conductores equilibran los costos y beneficios asociados con el cumplimiento de las leyes de tránsito y cómo estas decisiones pueden influir en la seguridad vial.

Además, se analiza los factores adicionales que influyen en la adaptación de los conductores, como la percepción de riesgo, las normas sociales, las actitudes hacia la seguridad vial y las experiencias previas. Estos aspectos son esencial para desarrollar estrategias efectivas que fomenten el cumplimiento de las normas viales y mejoren la seguridad en las carreteras.

El análisis convencional basado en la teoría paramétrica de la elección racional no aborda directamente aspectos psicológicos o emocionales que también pueden influir en el comportamiento de los conductores. Sin embargo, proporciona un marco sólido para comprender la toma de decisiones en el contexto del tráfico y la adaptación de los usuarios de las carreteras a las leyes de tránsito.

## 1.2 ANTECEDENTES

Schoettler (2015), en su estudio, analiza el comportamiento de los conductores en el tráfico vehicular en hora pico, en un entorno urbano, aplicando la teoría de juegos. La simulación es representada por una matriz de pago, con información imperfecta, en un entorno en donde interactúan dos conductores con tres carriles distintos (izquierdo, central y derecho) quienes compiten simultáneamente con la finalidad de llegar a tiempo a su destino, obteniendo el mejor resultado posible mediante las estrategias puras. Por lo que, según la estrategia tomada por los conductores, depende su recompensa, cuyo valor contempla la velocidad, el carril tomado y el riesgo. En una relación de velocidad frente a seguridad. Obteniendo como resultado que, la mejor estrategia a tomar por los jugadores es la de tomar los carriles laterales que son más lentos y con ello garantizar su seguridad en la carretera.

De igual manera, Sheikh et al. (2021), en su investigación, presenta una estimación de la agresividad del conductor y la detección de incidentes de tráfico mediante la teoría de juegos y el enfoque de juego de Stackelberg, en donde interactúa dos vehículos (testigo y agresivo) para estimar la agresividad y predecir su comportamiento a futuro, los dos jugadores interactúan en la carretera con estrategias de cambio de carril. Esto mediante el diagrama de bloques y la representación del juego extensivo con cuatro interacciones. Los pagos de los jugadores contemplan la velocidad y el comportamiento de los conductores, lo que les garantiza obtener beneficios de seguridad. Obteniendo como resultados que la conducción aberrante y el exceso de velocidad ocasionan que los demás conductores actúen de manera agresiva, ocasionando así un siniestro de tránsito. Por lo que la mejor alternativa es cooperar según Nash.

Así mismo, Elvik (2014), en su artículo revisa la aplicación de modelos de teoría de juegos para analizar el comportamiento de los usuarios de la vía. Mediante juegos de interacciones entre usuarios de la vía y agentes de policía, juego de velocidad entre vehículos, dimensiones y horas de salida, entre otros. En estos juegos se emplea el modelo halcón paloma que sostiene que una mejora externa en la seguridad ocasiona que los jugadores actúen de manera irresponsable o cautelosa en su interacción en la carretera. Para lo cual se utiliza un juego de estrategias mixtas entre conductores y policías. En donde el exceso de velocidad atribuye a una sanción económica por parte de la policía. Concluyendo que una aplicación de sanciones altas, reducen paulatinamente la conducción a exceso de velocidad.

Mientras que, Bjørnskau (2017), en su investigación utiliza a la teoría de juegos para analizar y comprender la interacción de los usuarios de la vía (autos, bicicletas y peatones), al encontrarse en un paso cebra y acatar las normativas de derecho de circulación, con la finalidad de mejorar la seguridad en el tráfico. Para lo cual emplea juegos extensivos, con información perfecta, con valores subjetivos. En donde cada jugador cuenta con dos estrategias, ceder y pasar. Por lo que, en el caso de entrar en conflicto y no cumplir con la normativa, el infractor se aría acreedora a una sanción. Por

lo tanto, para obtener el mejor beneficio posible la mejor estrategia para los conductores es ceder y permitirles el paso a peatones y ciclistas. Ya que, en el caso de un accidente, el automotor causaría daños irreversibles o incluso la muerte, lo cual es sancionado con pena de libertad.

De igual manera, Levy et al. (2018), en su artículo presenta fundamentos de cooperación mediante la teoría de juegos y su aplicación para analizar y resolver dilemas sociales en el contexto de los problemas de transporte. Mediante dos juegos, el primero se enfoca en los problemas de elección mediante el dilema del prisionero, y el otro juego de elección de ruta, que permite comprender la formación de congestión en una red binaria simple. En donde se considera que, la cooperación resuelve eficientemente los dilemas sociales similares a la congestión del tráfico en entornos dinámicos. La teoría del tráfico afirma el equilibrio del usuario, es un estado de red estable y equitativo, aunque ineficiente, que es un resultado conductual de la decisión egoísta y descoordinada de los conductores.

Por su parte, Näätänen & Summala (1976), analizan la relación entre el comportamiento de los usuarios de las vías y los accidentes de tránsito, señalando aquellos aspectos del comportamiento de los usuarios de las vías que están íntimamente relacionados con la ocurrencia de accidentes y las pérdidas resultantes. Se realizó una sistematización de los factores que determinan el proceso de toma de decisiones del conductor y como resultado se presenta un modelo basado en la teoría paramétrica de la elección racional de teoría de juegos, mediante la aplicación de un sistema de circuito cerrado, en el que se muestran los motivos actuales del conductor, junto con el riesgo subjetivo experimentado por él y las expectativas basadas en la percepción de la situación actual y experiencias previas relacionadas que determinan su toma de decisiones actual.

De igual modo, Amick y Marshall (1983), en su estudio, analizaron datos de velocidad y accidentes para evaluar el impacto y los costos asociados de una mayor aplicación de la ley. Los resultados indican que una mayor actividad de cumplimiento tiene el efecto de disminuir los parámetros de tráfico relacionados con la velocidad a lo largo del tiempo. La velocidad media se redujo un 2,4 % y el porcentaje que superaba las 55 mph se redujo un 14 %. Una mayor aplicación de la reducción de la velocidad parece tener el efecto de reducir tanto la frecuencia como la gravedad de los accidentes. Los accidentes mortales y con lesiones se redujeron en un 13,3 % y los accidentes con daños a la propiedad se redujeron en un 11,9 %. Se calcularon las proporciones de beneficio a costo para determinar la viabilidad económica de esto, así como futuros esfuerzos de cumplimiento. Estos índices indican que los beneficios superan con creces los costos.

Por su parte, Summala (1985), realizó un modelo motivacional o de "riesgo cero", esencialmente afirmaba que el conductor tiende a satisfacer sus motivos en el tráfico, empujándolo hacia una conducción más rápida y peligrosa, aunque por lo general no siente ningún riesgo de sufrir un accidente. Este documento primero

consideró el cambio de modelos de habilidades a modelos motivacionales para el comportamiento del conductor; en segundo lugar, muestra cómo los límites de velocidad realmente cambiaron las tendencias de seguridad vial; en tercer lugar, considera los mecanismos básicos en el comportamiento del conductor desde el punto de vista de la seguridad; y, en cuarto lugar, sugiere direcciones para seguir trabajando en la mejora de la seguridad vial.

De la misma manera, Tsebelis (1989) explicó el comportamiento de los agentes y la manera en la que estos toman decisiones mediante la falacia de Robinson Crusoe, que consiste en que, los agentes toman decisiones de manera aislada y sin considerar la influencia de otros agentes o factores externos, lo que lleva a tomar decisiones incorrectas. Bajo esta premisa, el autor aplica un juego dinámico en donde interactúan la policía y los conductores, en busca de un equilibrio en estrategias puras y mixtas; considerando que sus estrategias se basan en la velocidad permitida y la limitante para que sea considerada o no como una violación de la ley. Obteniendo como resultados que, una modificación del tamaño de la pena no afecta a la frecuencia de compromiso de delitos en equilibrio, sino más bien a la frecuencia de la aplicación de la ley.

En cambio, Roop y Brackett (1980), implementaron mayores actividades de cumplimiento en seis condados de Texas en un esfuerzo por controlar el aumento de la velocidad del tráfico y los accidentes en las carreteras rurales. La velocidad media se redujo un 2,4 % y el porcentaje que superaba las 55 mph se redujo un 14 %. Una mayor aplicación de la reducción de la velocidad parece tener el efecto de reducir tanto la frecuencia como la gravedad de los accidentes. Los accidentes mortales y con lesiones se redujeron en un 13,3 % y los accidentes con daños a la propiedad se redujeron en un 11,9 %. Se calcularon las proporciones de beneficio a costo para determinar la viabilidad económica de esto, así como futuros esfuerzos de cumplimiento. Estos índices indican que los beneficios superan con creces los costos.

Del mismo modo, Kim y Kim (1997), explicaron que los teóricos de juegos han recomendado muchas estrategias razonables en problemas de política, utilizando, en general, el concepto de estrategia de equilibrio para analizar las consecuencias dinámicas de las opciones de política disponibles. Una de las recomendaciones más conocidas es la de George Tsebelis, que sostiene que el aumento de las sanciones no es una herramienta política viable para disminuir las tendencias de los conductores a infringir la ley. El modelo de dinámica de sistemas aplicado para un juego de estrategia mixta muestra que se necesita mucho tiempo para que aparezca un equilibrio de teoría de juegos. Además, el modelo de juego mixto muestra que un aumento en la penalización puede inducir el cumplimiento de las personas, lo que contradice la solución de la teoría del juego, pero es consistente con los comportamientos del mundo real.

Por otra parte, Høye y Elvik (2019), explicaron los resultados de estudios empíricos y los efectos de seguridad de diferentes tipos de medidas de seguridad vial. En la medida de lo posible, los resultados se resumen mediante metaanálisis. El informe



presenta algunos antecedentes, incluido un resumen de la visión cero, información general sobre los accidentes y el riesgo de accidentes en Noruega e internacionalmente y una descripción general de los costos de los accidentes y el análisis de costo-beneficio. También contiene una introducción al metanálisis, que incluye directrices para revisiones sistemáticas y los conceptos básicos de los métodos estadísticos más importantes en el metanálisis de probabilidades logarítmicas y el análisis de posibles sesgos.

### **1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los siniestros de tránsito constituyen un grave problema en la seguridad vial que dan como resultado pérdidas vitales y económicas irreversibles (Ibarra, 2019). Esto debido a que, muchos conductores, impulsados por la prisa o la falta de conciencia, optan por superar los límites de velocidad establecidos. Esta conducta irresponsable aumenta significativamente el riesgo de accidentes de tráfico, ya que reduce el tiempo de reacción y dificulta el control del vehículo. Los efectos del exceso de velocidad son devastadores, ya que puede resultar en lesiones graves e incluso la pérdida de vitales. Es de conocimiento público que en el Ecuador los límites de velocidad establecidos en la normativa legal vigente son: zona urbana, 50 km/h; perimetrales, 90 km/h y zona escolar, 30 km/h los cuales no han sido acatados por los conductores quienes, optan por un comportamiento compulsivo, agresivos e incluso débil a la hora de conducir, lo que da como resultado un siniestro de tránsito (Reyes y Soledispa, 2023).

En el segundo trimestre del año 2023 ocurrieron 4.995 siniestros de tránsito en el país, siendo los causantes, la impericia e imprudencia con un 2.017 siniestro, el irrespeto a las señales de tránsito con 1.113 siniestros, el exceso de velocidad con 699 siniestros, accidentes causados por embriaguez o consumo de sustancias estupefacientes con 349 siniestro y otros causantes con 748 siniestros (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023). Por lo que, para combatir este problema, las autoridades de tránsito en diversos países como Suiza, Finlandia, Bélgica, entre otras, han implementado leyes más estrictas, campañas de concientización y tecnologías de monitoreo, con el objetivo de disuadir a los conductores de exceder los límites de velocidad y fomentar una conducción segura y responsable obteniendo exitosos resultados. Es fundamental que los conductores comprendan los riesgos asociados con el exceso de velocidad y cumplan con los límites establecidos para garantizar la seguridad vial de todos los usuarios de las carreteras.

Por lo que, por motivos investigativos recurre a la teoría paramétrica racional aplicada en la teoría de juegos debido a que esta, brinda un marco analítico sólido para comprender y abordar los desafíos en el juego en donde interactúan los conductores y los agentes policiales. Esto permitirá una comprensión más profunda de la dinámica del juego, los pagos y las estrategias que pueden influir en la interacción de los jugadores permitiendo alcanzar soluciones más eficientes y efectivas en términos de seguridad vial y cumplimiento de la ley (Moreno, 2019).

De hecho, la teoría paramétrica de la elección racional se basa en la premisa de que los individuos son seres racionales que toman decisiones de manera sistemática y calculada. Sin embargo, en el contexto del tráfico, las decisiones de los conductores pueden estar influenciadas por factores emocionales, cognitivos y situacionales que van más allá de una evaluación puramente racional de costos y beneficios. Estos aspectos psicológicos y afectivos pueden desempeñar un papel importante en la adaptación de los conductores a las leyes de tránsito, pero a menudo no se abordan en el análisis convencional (Martínez, 2004).

Además, el análisis convencional tiende a enfocarse en las consecuencias individuales del cumplimiento o violación de las leyes de tránsito, como multas o sanciones legales. Sin embargo, el comportamiento vial también está influenciado por factores sociales y culturales, así como por la percepción de las normas y valores compartidos en una determinada comunidad o sociedad (Cáceres, 2019). Estos aspectos colectivos pueden afectar la adaptación de los usuarios de las carreteras y deben preocuparse para una comprensión más completa del fenómeno.

Otro desafío es la falta de consideración de la necesidad en la toma de decisiones de los conductores. Cada individuo puede tener diferentes preferencias, actitudes y experiencias que influyen en su comportamiento vial. La teoría paramétrica de la elección racional a menudo trata a los conductores como agentes homogéneos, lo que puede limitar su capacidad para capturar la diversidad y complejidad de las decisiones individuales en el tráfico (Mendoza y Rodríguez, 2020).

Por último, el análisis convencional se centra en el cumplimiento de las leyes de tránsito, sin prestar suficiente atención a otros aspectos relevantes, como la seguridad vial en general. La adaptación de los usuarios de las carreteras implica no solo el cumplimiento de las normas, sino también la adopción de comportamientos seguros y la consideración de factores como la velocidad, el uso del cinturón de seguridad, el uso del teléfono móvil mientras se conduce, entre otros. Estos aspectos deben integrarse en el análisis para una comprensión más completa de la adaptación de los usuarios de las carreteras a las leyes de tránsito (Plá et al., 2005).

Si cada parte, considera un agente racional que se adapta al comportamiento de la otra, la forma adecuada de analizar los resultados es a través de la teoría de juegos. Ya que, permite analizar la interacción entre los jugadores y su comportamiento ante distintas implicaciones y así establecer supuestos como: (i) la mayoría de los intentos de hacer cumplir la legislación de tránsito no tendrán efectos duraderos, ya sea sobre el comportamiento de los usuarios de la vía o sobre los accidentes; (ii) la imposición de penas más estrictas (en forma de multas más altas o penas de prisión más largas) no afectará el comportamiento de los usuarios de la vía; (iii) la imposición de penas más estrictas reducirá el nivel de aplicación; (iv) implementar técnicas automáticas de vigilancia del tráfico y/o asignar recursos de aplicación de acuerdo con un mecanismo de oportunidad, y no de acuerdo con las estimaciones policiales de la

probabilidad de violación, puede hacer que los efectos de la aplicación duren, pero ambas alternativas son difíciles de implementar.

Por lo cual se implementa la pregunta de investigación, para conocer ¿cuál es el comportamiento de los usuarios en la carretera ante la aplicación de una sanción más severa por exceso de velocidad?

## **1.4 JUSTIFICACIÓN**

Ante la ocurrencia de siniestros de tránsito por exceso de velocidad, es preciso analizar este fenómeno mediante la creación de estrategias para reducir tales sucesos mediante la aplicación de la teoría de juegos que proporciona un marco analítico para comprender cómo los diferentes usuarios de la carretera, como conductores, peatones y ciclistas, interactúan entre sí. Permite examinar cómo las decisiones individuales de los usuarios afectan el comportamiento colectivo y cómo se pueden producir situaciones de conflicto o cooperación.

Mediante la teoría de juegos, es posible identificar las estrategias óptimas para los usuarios de la carretera en diferentes situaciones. Esto implica analizar cómo los usuarios pueden maximizar su propio beneficio mientras consideran las decisiones de los demás. También se pueden identificar los equilibrios del juego, donde ninguna de las partes tiene incentivos para cambiar su estrategia dada la estrategia de los demás.

Al comprender mejor el comportamiento de los usuarios de la carretera y las interacciones entre ellos, se pueden identificar áreas problemáticas y desarrollar medidas específicas para mejorar la seguridad vial. Esto puede incluir la implementación de infraestructura más segura, cambios en las reglas de tráfico, campañas de concientización y políticas de aplicación más efectivas.

La teoría de juegos puede ayudar a diseñar políticas y regulaciones más efectivas para abordar los problemas de comportamiento en la carretera. Al considerar cómo los usuarios responderán a las políticas propuestas y cómo interactuarán entre sí, es posible desarrollar medidas que promuevan un comportamiento deseado y eviten resultados indeseables, como el exceso de velocidad, los accidentes o los conflictos viales.

La teoría de juegos también puede ayudar a promover la cooperación entre los usuarios de la carretera. Al analizar los incentivos y los beneficios mutuos de la cooperación, se pueden desarrollar estrategias para fomentar comportamientos colaborativos, como ceder el paso, mantener distancias seguras o respetar las señales de tráfico.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo general**

- Analizar el comportamiento de los usuarios de la carretera mediante un análisis de teoría de Juegos.

### **1.5.2 Objetivos específicos**

- Conceptualizar los diferentes tipos de juegos dentro de la teoría de juegos (estáticos y dinámicos) y sus equilibrios.
- Presentar las situaciones convencionales de los usuarios de las carreteras.
- Explicar las acciones de los usuarios de la vía basados en la teoría paramétrica de la elección racional.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Teoría de Juegos

La teoría de juegos se originó en la economía, una de las ciencias sociales, pero en la actualidad se la aplica en diversos campos de estudio (McCain, 2023). Su aplicación abarca los análisis de mercados, negociación, resolución de conflictos y otros campos en donde la toma de decisiones son esenciales (Rubinstein et al., 2007). Esto debido a que, la teoría de juegos es un enfoque distinto e interdisciplinario para el estudio del comportamiento humano, un enfoque que estudia las elecciones racionales de estrategias y trata a las interacciones entre las personas como si fuesen un juego, con reglas y recompensas conocidas. Con escenarios en donde todos intentan ganar o maximizar su utilidad (Ganjali y Guney, 2017).

Por lo que, según Amster y Pinasco (2015), la teoría de juegos emplea a la matemática, como medio para modelar las decisiones y las estrategias de los jugadores ya que, facilita la comprensión de como dos o más actores, individuales o agrupados toman decisiones en escenarios en donde sus intereses pueden estar en conflicto. La teoría de juegos modela esas situaciones asignando un pago a cada jugador en función a la organización de los jugadores y su actuar de manera individual o colectiva. Y supone que, los agentes son racionales en el sentido de que sus acciones vengan guiadas por el sentido común.

De la misma manera Von Neumann & Morgenstern (2007), menciona que la teoría de juegos es un campo de la economía y las matemáticas que estudia la toma de decisiones estratégicas en situaciones interactivas entre jugadores con el objetivo de maximizar su utilidad, teniendo en cuenta las decisiones de los demás. Nash (2002) propuso el concepto de "equilibrio de Nash" y definió la teoría de juegos como el estudio de situaciones estratégicas en las que ningún jugador puede mejorar su resultado al cambiar unilateralmente su estrategia, dado el comportamiento de los demás jugadores. Schelling (2010), se centró en el aspecto de la toma de decisiones estratégicas en situaciones de conflicto y negociación. Para él, la teoría de juegos es el estudio de cómo los actores racionales interactúan y toman decisiones estratégicas en situaciones competitivas.

##### 2.1.1 Elementos de un juego

En la teoría de juegos, un juego se compone de varios elementos esenciales que ayudan a definir y analizar la interacción estratégica entre los participantes. Estos elementos incluyen:

### **2.1.1.1 Jugadores**

Los jugadores son los participantes o actores que toman decisiones en el juego. Pueden ser individuos, empresas, países u otras entidades que tienen intereses u objetivos propios en el juego. Cada jugador tiene la capacidad de elegir entre diferentes opciones o acciones disponibles en función de su estrategia (Maschler et al., 2020).

### **2.1.1.2 Estrategias**

Las estrategias representan las diferentes acciones o decisiones que los jugadores pueden tomar durante el juego. Cada jugador tiene un conjunto de estrategias entre las cuales puede elegir. Las estrategias pueden ser simples o complejas, y un jugador puede tener una estrategia pura (una acción específica) o una estrategia mixta (una combinación de acciones con ciertas probabilidades) (Adler et al., 2021).

### **2.1.1.3 Ganancias**

Las ganancias, también conocidas como recompensas o utilidades, representan los resultados o pagos asociados con las diferentes combinaciones de estrategias que los jugadores eligen. Estas ganancias pueden ser positivas o negativas y reflejan los intereses y objetivos de cada jugador en el juego. El objetivo principal de un jugador es maximizar sus ganancias (McCain, 2023).

### **2.1.1.4 Reglas**

Las reglas establecen el marco y las restricciones dentro del cual se desarrolla el juego. Estas reglas definen las acciones permitidas para cada jugador, cómo se toman las decisiones, cómo se calculan las ganancias y cómo progresa el juego a lo largo del tiempo. Las reglas son fundamentales para determinar el curso de acción y el resultado final del juego (McCain, 2023).

## **2.1.2 Representación de un juego**

### **2.1.2.1 Normal**

Un juego en forma normal o forma estratégica tiene como punto de referencia las estrategias de cada jugador, representadas normalmente de manera matricial. Un juego en forma normal viene determinado por un conjunto de jugadores, un conjunto de estrategias para cada jugador y unos pagos (o utilidades) que reciben los jugadores para cada combinación de estrategias (Duwison Pérez, 2017, pp.3) . Es decir, formalmente:

$$G = \{J, (S_i)_{i \in J}, (u_i)_{i \in J}\}$$

Siendo  $J$  los jugadores participantes del juego,  $S_i$  las estrategias disponibles para el jugador  $i$  y  $u_i$  los pagos que recibe el jugador  $i$ . En los juegos que se representan de forma normal, se presupone que los jugadores actúan simultáneamente sin conocer la decisión que toma el resto de los jugadores.

Si partimos de un juego  $G = \{N = \{1,2\}; S_1, S_2; u_1, u_2\}$  donde  $S_1$  y  $S_2$  son los conjuntos de estrategias puras del Jugador I y II respectivamente y  $u_1(S_1, S_2)$  y  $u_2(S_1, S_2)$  las funciones de utilidad de cada uno de los jugadores, siendo:

- $u_1(S_1, S_2)$ , el pago que se recibe del jugador I cuando juega la estrategia  $S_1$  y el jugador II juega la  $S_2$ .
- Y  $u_2(S_1, S_2)$ , el pago que se recibe del jugador II cuando juega la estrategia  $S_2$  y el jugador I juega la  $S_1$ .

Definimos  $G$  como un juego bipersonal de suma cero si para todo par de estrategias puras de ambos jugadores, la suma de los pagos que a ambos corresponde es nula. En un juego en forma normal, los jugadores eligen sus estrategias simultáneamente, es decir, sin saber cuál será la jugada elegida por el otro jugador, dependiendo de la estrategia elegida el pago de cada jugador (Duwison Pérez, 2017, pp.5).

El juego dice lo siguiente: “Dos sospechosos de haber cometido un delito son interrogados por la policía, cada uno por separado. Se les pregunta sobre si el otro sospechoso es culpable. Dependiendo de su respuesta y de la respuesta del otro sospechoso a esta misma pregunta, se definen las penas de cárcel para cada uno de ellos. Si un sospechoso se confiesa autor del delito y su cómplice no, el cómplice será condenado a una pena de “ $x$ ” años y él será puesto en libertad. Si ninguno de los dos confiesa, ambos son condenados a una pena de “ $y$ ” años tal que  $y < x$ . Si los dos sospechosos confiesan, la condena que deberán cumplir asciende a “ $t$ ” años tal que  $y < t < x$ ”. Expresando el juego en forma matricial:

**Gráfico 1.** Juego del dilema del prisionero

	Confesar	Callar
Confesar	$t, t$	$0, x$
Callar	$x, 0$	$y, y$

*Nota.* Elaboración propia a partir de Pérez et al.(2004),pp.64.

La estrategia dominante para ambos jugadores es confesar, debido a que siempre van a obtener mejor pago (menos pena de cárcel) con independencia de la decisión del otro. Pero esta solución es únicamente óptima desde el punto de vista de los intereses del conjunto de jugadores, mientras que no es óptima desde el punto de vista individual, ya que ambos tendrían que estar una temporada en la cárcel. El Equilibrio de Nash sería que ambos confesasen. Aquí se encuentra el punto de inflexión principal del dilema del prisionero, la contraposición entre los intereses individuales y colectivos. Una estrategia dominante es aquella que es mejor que la otra, a la que llamamos dominada, para cada posible perfil de estrategias que eligen los otros jugadores. Desde un punto de vista general, el dilema del prisionero puede representar una imagen del mundo donde las

personas priorizan su interés obteniendo resultados menos beneficiosos que si cooperasen de forma conjunta (Duwison Pérez, 2017,pp.5).

### **2.1.2.2 Extensiva**

La forma extensiva, también conocida como forma de árbol, se utiliza para representar juegos secuenciales o juegos con información incompleta. Este tipo de representación muestra las secuencias de acciones tomadas por los jugadores y cómo se desarrolla el juego a lo largo del tiempo. Se utiliza especialmente para juegos con varias etapas y toma en cuenta los movimientos secuenciales, las jugadas simultáneas y las posibles ramificaciones de las decisiones (González y Solano, 2004).

Cada nodo del árbol representa un estado del juego en el que un jugador toma una decisión, y las aristas indican las acciones disponibles y las transiciones de un estado a otro. En los juegos de información incompleta, algunos nodos pueden estar ocultos o ser desconocidos para ciertos jugadores. Por ejemplo, un juego de póker podría representarse en forma extensiva como un árbol que muestra las diferentes etapas del juego, las cartas repartidas y las decisiones de los jugadores en cada ronda (González y Solano, 2004).

La elección de la representación depende del tipo de juego y la información disponible. La forma normal es más adecuada para juegos con información completa y estrategias discretas, mientras que la forma extensiva es más útil para juegos secuenciales y con información incompleta (Cerdá et al., 2004).

En un juego en forma extensiva la idea de estrategia es algo más rica:

- En un juego en forma normal, una estrategia es un plan completo de acción que se establece de una vez para siempre, y no puede ser de otro modo, puesto que no se aprecia la estrategia del contrario.
- En un juego en forma extensiva, una estrategia es un plan de acción contingente, que especifica qué hará el jugador ante cada posible movimiento del rival.

Los juegos en forma extensiva más simples se pueden representar con un árbol de decisión. El árbol se compone de nodos y ramas. De cada nodo pueden salir diferentes ramas que se dirigen a otros nodos. Los árboles de decisión, como veremos a continuación, facilitan notablemente la comprensión del juego. Pero es importante subrayar desde el principio que la representación arbórea del juego no siempre es posible en los juegos en forma extensiva (Cerdá et al., 2004).

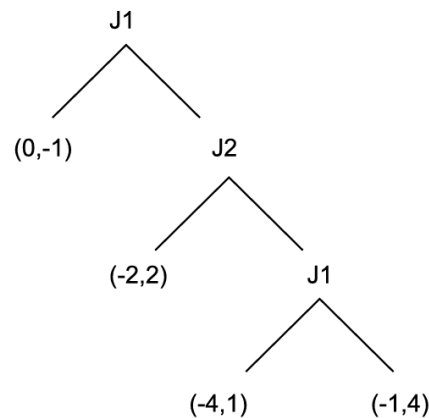
#### **2.1.2.2.1 Árbol de decisión**

Un árbol, como se ha dicho antes, es un conjunto de nodos conectados con ramas que representan una relación de precedencia temporal. Si un nodo está debajo de otro (o a la derecha de otro, si el árbol se dibuja «tumbado», de izquierda a derecha),



esto significa que el que está debajo interviene después del que está arriba. La regla fundamental de construcción del árbol es que cada nodo solo puede tener un predecesor, es decir, de dos nodos no pueden salir ramas que acaben en el mismo nodo. Además, se debe tener en cuenta que hay nodos terminales, de los cuales no sale ninguna rama porque señalan el final del juego. Es en los nodos terminales donde se incluyen los pagos de los jugadores (Sánchez, 2009).

**Gráfico 2.** Un ejemplo de un árbol en un juego en forma extensiva



**Nota.** En la figura 2 hay un primer ejemplo de árbol de decisión. Se trata de un árbol muy sencillo, con tres jugadas o movimientos y cuatro nodos terminales. Como se indica junto a cada nodo terminal, hay dos jugadores:  $J_1$  interviene en la primera y en la tercera jugada y  $J_2$  mueve en la segunda jugada. De cada nodo no terminal salen dos ramas, lo cual significa que en este ejemplo tan sencillo cada jugador tiene dos cursos de acción posibles en cada jugada. En los nodos terminales se han incluido unos pagos arbitrarios. El primer número es el pago de  $J_1$  y el segundo, el pago de  $J_2$ .

Por ejemplo, si las estrategias del jugador no son discretas, sino que son continuas, el árbol no puede dar cuenta de la estructura del juego. Suponed que se analiza un juego de negociación en el que un jugador tiene que hacer una oferta que se sitúe entre 0 y 1 euros. El conjunto total de ofertas no se puede representar discretamente con ramas (Muñoz, 2016).

En realidad, lo que es esencial de un juego en forma extensiva no es el árbol, sino la especificación de lo siguiente:

- la secuencia de jugadas u orden de movimientos,
- las estrategias posibles de los jugadores,
- la información que tienen los jugadores en cada movimiento y
- los pagos que reciben los jugadores para cada combinación de estrategias posible.

La especificación de estos cuatro elementos se puede hacer con un árbol o sin él. Quizá la mejor manera de introducirlos es con un caso simple, en el que sí que podemos recurrir al árbol (Ortiz, 2012).

### **2.1.3 Tipos o enfoques de juegos**

#### **2.1.3.1 Juegos cooperativos y no cooperativos**

En los juegos cooperativos, los jugadores pueden colaborar y formar coaliciones para lograr objetivos comunes. En este tipo de juego, los jugadores pueden comunicarse, negociar y hacer acuerdos para coordinar sus acciones y distribuir las ganancias resultantes de manera justa (Cachon y Netessine, 2006).

Cachon y Netessine (2006) explican que las características principales de los juegos cooperativos son:

- **Colaboración:** Los jugadores pueden trabajar juntos y tomar decisiones conjuntas para lograr un resultado que beneficie a todos los miembros de la coalición.
- **Comunicación y negociación:** Los jugadores pueden comunicarse abiertamente, discutir estrategias y hacer promesas o compromisos para alcanzar un acuerdo beneficioso.
- **Ganancias redistribuidas:** Si una coalición tiene éxito, las ganancias se redistribuyen entre los miembros de manera acordada previamente.
- **Problemas de formación de coaliciones:** La formación de coaliciones puede ser una parte crucial del juego, ya que los jugadores pueden unirse a diferentes grupos para buscar resultados óptimos.
- **Ejemplo de juego cooperativo:** Un grupo de amigos que deciden participar juntos en un concurso de preguntas y compartir el premio en caso de ganar.

#### **2.1.3.2 Juegos no cooperativos**

En los juegos no cooperativos, los jugadores toman decisiones de manera independiente y no pueden formar coaliciones o hacer acuerdos vinculantes (Cachon y Netessine, 2006). Cada jugador busca maximizar sus ganancias individuales sin tener en cuenta los intereses de los demás.

Cachon y Netessine (2006) explican que las características principales de los juegos no cooperativos son:

- **Competencia individual:** Los jugadores actúan de manera egoísta y buscan maximizar sus propias ganancias, sin cooperar ni negociar con otros jugadores.
- **Estrategias individuales:** Cada jugador elige su estrategia sin conocer las estrategias elegidas por los demás.
- **Ausencia de comunicación vinculante:** Los jugadores no pueden hacer acuerdos vinculantes o comunicarse de manera efectiva durante el juego.
- **Resultados basados en las estrategias:** El resultado final del juego depende de las estrategias individuales elegidas por cada jugador.

En el ámbito de los juegos no cooperativos se encuentran:

### **2.1.3.3 Juegos estáticos y dinámicos**

Los juegos estáticos son aquellos en los que los jugadores toman decisiones simultáneamente, es decir, en un solo momento del tiempo. Cada jugador elige su estrategia sin tener información sobre las elecciones de los demás. En este tipo de juego, no hay secuencia de movimientos y no se permite la comunicación o negociación entre los jugadores antes de tomar sus decisiones (Owen, 2013).

Los juegos dinámicos son aquellos en los que los jugadores toman decisiones de manera secuencial, en diferentes momentos del tiempo. Cada jugador observa las acciones anteriores de los otros jugadores antes de tomar su propia decisión. Estos juegos involucran una secuencia de movimientos y, en algunos casos, pueden incluir información incompleta sobre las acciones y preferencias de otros jugadores (Owen, 2013).

### **2.1.3.4 Juegos sin información y con información completa**

En los juegos sin información, también conocidos como juegos de información imperfecta, los jugadores toman decisiones secuenciales sin tener información sobre las acciones y preferencias de los demás jugadores. Cada jugador toma decisiones basadas únicamente en la información disponible públicamente y en su propio conocimiento (Madani, 2010).

En los juegos con información completa, también conocidos como juegos de información perfecta y completa, los jugadores tienen información completa sobre las acciones y preferencias de los demás jugadores. Cada jugador conoce las acciones exactas tomadas por otros jugadores en movimientos anteriores y también es consciente de las preferencias de todos los jugadores (Madani, 2010).

### **2.1.3.5 Juegos simétricos y asimétricos**

En los juegos simétricos, todos los jugadores tienen conjuntos idénticos de estrategias y enfrentan las mismas ganancias o pagos al seleccionar las mismas estrategias. En este tipo de juego, los jugadores están en igualdad de condiciones, y no hay diferencias entre ellos en términos de reglas o estructura del juego (Wei et al., 2015).

En los juegos asimétricos, los jugadores tienen conjuntos de estrategias diferentes y enfrentan ganancias o pagos distintos al seleccionar las mismas estrategias. En este tipo de juego, hay diferencias significativas entre los jugadores en términos de reglas o estructura del juego (Wei et al., 2015).

### **2.1.3.6 Juegos repetidos**

Los juegos repetidos son un tipo de juego dinámico en el cual una secuencia de interacciones idénticas o similares se repite múltiples veces entre los mismos jugadores. En estos juegos, las decisiones tomadas en un período de tiempo pueden tener consecuencias y repercusiones en los periodos futuros. La repetición del juego permite que los jugadores aprendan del comportamiento y las acciones de los demás a lo largo del tiempo, lo que puede influir en sus decisiones futuras (Sieira, 2019).

Características de los juegos repetidos:

- **Secuencias de interacciones:** Los juegos repetidos se componen de una serie de interacciones o rondas en las cuales los mismos jugadores interactúan de manera similar.
- **Estrategias dependientes del historial:** En los juegos repetidos, las estrategias que los jugadores eligen pueden depender del historial de acciones y resultados previos. Los jugadores pueden utilizar estrategias de "tit-for-tat" (o "ojo por ojo"), donde responden a las acciones del oponente de manera similar a cómo el oponente actuó en la ronda anterior.
- **Posibilidad de cooperación y castigo:** La repetición del juego brinda a los jugadores la oportunidad de cooperar entre sí y establecer relaciones de confianza. Además, también permite que los jugadores castiguen a otros por comportamientos no cooperativos o desleales.
- **Problemas de credibilidad y compromiso:** En los juegos repetidos, los jugadores pueden enfrentar problemas relacionados con la credibilidad de sus amenazas o promesas, ya que sus acciones en rondas anteriores pueden afectar la creencia de los demás sobre su disposición a cumplir con sus palabras.
- **Equilibrios sostenibles:** En los juegos repetidos, pueden surgir equilibrios sostenibles a largo plazo que son diferentes de los equilibrios que se alcanzarían en un solo juego. Estos equilibrios pueden depender de la reputación de los jugadores y de su historial de acciones.

### **2.1.4 Tipos de estrategias**

#### **2.1.4.1 Estrategias dominantes y dominadas**

Las estrategias dominantes y dominadas son conceptos fundamentales en la teoría de juegos. Vitoriano (2007) describe cada una:

- **Estrategia dominante:** Es la estrategia que siempre proporciona una mayor utilidad a un jugador, independientemente de la estrategia del otro jugador. Existen dos tipos de dominio estratégico:
- Una estrategia estrictamente dominante es la estrategia que siempre proporciona una mayor utilidad a un jugador, independientemente de la estrategia del otro jugador.

- Una estrategia débilmente dominante es la estrategia que proporciona al menos la misma utilidad para todas las estrategias del otro jugador, y estrictamente superior para alguna de sus estrategias.
- Estrategia dominada: Es aquella que es uniformemente peor que todas las demás que están a disposición de un jugador haga lo que haga el otro jugador. Un jugador racional nunca jugará una estrategia estrictamente dominada porque ésta nunca será óptima.

Es importante mencionar que cualquier equilibrio de estrategia dominante es siempre un equilibrio de Nash. Sin embargo, no todos los equilibrios de Nash son equilibrios de estrategias dominantes. La eliminación de estrategias dominadas se utiliza comúnmente para simplificar el análisis de cualquier juego.

#### ***2.1.4.2 Estrategias minimax y maximin***

- Estrategia minimax: En un juego de suma cero, la estrategia minimax para un jugador es aquella que maximiza su ganancia mínima, es decir, elige la mejor opción considerando que los demás jugadores toman decisiones para minimizar la ganancia del jugador. El objetivo es minimizar el riesgo y garantizar la mayor ganancia posible bajo la peor situación posible (Binmore, 1994) citado en (Binmore, 2007).
- Estrategia maximin: La estrategia maximin para un jugador en un juego de suma cero es aquella que maximiza su ganancia máxima, considerando que los demás jugadores toman decisiones para maximizar la pérdida del jugador. El objetivo es maximizar la ganancia garantizada bajo la mejor situación posible (Binmore, 1994) citado en (Binmore, 2007).

#### **2.1.4.3 Estrategias puras**

Las estrategias puras son aquellas en las que un jugador selecciona una acción específica con probabilidad 1, es decir, juega de manera determinista sin incertidumbre o azar. Una estrategia pura puede ser una única opción o una combinación de varias opciones, pero, en cualquier caso, el jugador elige una acción en particular sin aleatoriedad (Binmore, 1994) citado en (Binmore, 2005).

#### **2.1.4.4 Estrategias mixtas**

Las estrategias mixtas son aquellas en las que un jugador elige sus acciones con ciertas probabilidades en lugar de una elección determinista. Es decir, el jugador juega de manera aleatoria, asignando probabilidades a diferentes acciones. Las estrategias mixtas permiten a los jugadores ser impredecibles y evitar ser explotados por sus oponentes. La elección de una estrategia mixta se basa en las preferencias del jugador y las probabilidades asociadas con las ganancias de cada acción (Binmore, 1994) citado en (Binmore, 2007).

## **2.1.5 Equilibrios**

### **2.1.5.1 Equilibrio de Nash en estrategias puras**

El Equilibrio de Nash en estrategias puras es un concepto central en la Teoría de Juegos y ocurre cuando cada jugador elige su estrategia sin tener incentivos para cambiar su decisión, dado el conjunto de estrategias elegidas por los demás jugadores. Es decir, en un Equilibrio de Nash, ningún jugador tiene motivos para desviarse unilateralmente de su estrategia actual, ya que no obtendría un resultado mejor (Cachalvite, 2022).

### **2.1.5.2 Equilibrio de Nash en estrategias mixtas**

El Equilibrio de Nash en estrategias mixtas es otro tipo de equilibrio en el cual los jugadores eligen estrategias de manera aleatoria, es decir, utilizando una mezcla o combinación de diferentes estrategias con ciertas probabilidades. En este equilibrio, cada jugador maximiza su utilidad esperada y, al mismo tiempo, hace que sus oponentes sean indiferentes entre las acciones disponibles. Formalmente, un Equilibrio de Nash en estrategias mixtas se alcanza cuando cada jugador utiliza una distribución de probabilidad sobre sus estrategias, y las probabilidades de sus oponentes hacen que el jugador sea indiferente entre sus propias estrategias (Cachalvite, 2022).

### **2.1.5.3 Equilibrio de Pareto**

El Equilibrio de Pareto representa una situación en la que no es posible mejorar la ganancia de un jugador sin empeorar la ganancia de al menos otro jugador. En otras palabras, es una asignación de estrategias donde ningún jugador puede mejorar su resultado sin perjudicar a otro jugador. El Equilibrio de Pareto no necesariamente implica que todos los jugadores estén satisfechos con sus resultados, sino que simplemente no hay una mejora posible para un jugador sin que otros se vean afectados negativamente. Es importante mencionar que no todos los juegos tienen un Equilibrio de Pareto, y en algunos casos, puede haber múltiples equilibrios o ninguno en absoluto (Cachalvite, 2022).

## **2.1.6 Modelos de teoría de juegos**

### **2.1.6.1 Halcón paloma**

El modelo halcón paloma es un juego de dos jugadores que representa una situación de conflicto o competencia en la que ambos jugadores pueden adoptar una de dos estrategias: ser "halcón" o "paloma". En este modelo, los "halcones" son agresivos y continúan compitiendo incluso cuando eso puede llevar a un enfrentamiento costoso y dañino, mientras que los "palomas" son más pacíficos y prefieren retirarse o evitar la confrontación (Matus, 2021).

El juego se puede representar en una matriz de pagos, donde los resultados dependen de las elecciones de ambos jugadores. Los "halcones" obtienen una recompensa alta si ganan el enfrentamiento, pero incurren en un alto costo si luchan y pierden. Por otro lado, los "palomas" obtienen una recompensa moderada si evitan la lucha, pero también sufren un costo si se enfrentan a un "halcón" agresivo (Matus, 2021).

El modelo Halcón Paloma se utiliza para analizar situaciones de conflicto y competencia, como en la toma de decisiones militares, negociaciones comerciales y confrontaciones políticas (Matus, 2021).

### **2.1.6.2 Dilema del prisionero**

El dilema del prisionero es uno de los modelos más conocidos en la Teoría de Juegos y representa una situación en la que dos jugadores enfrentan un dilema entre cooperar y traicionar a su compañero. Cada jugador debe decidir si cooperar con el otro o traicionarlo, y los resultados dependen de las elecciones de ambos (Sánchez, 2009).

En un dilema del prisionero clásico, si ambos jugadores cooperan (es decir, eligen la opción cooperativa), obtienen una recompensa moderada. Si ambos traicionan (eligen la opción traicionar), obtienen un resultado negativo, pero si un jugador traiciona mientras el otro coopera, el jugador que traiciona obtiene una gran recompensa a expensas del jugador cooperativo. Este modelo se utiliza para analizar situaciones donde hay incentivos para la traición y cómo la falta de cooperación puede llevar a resultados subóptimos para ambas partes involucradas (Sánchez, 2009).

### **2.1.6.3 Guerra de los sexos**

La Guerra de los sexos es otro modelo de dos jugadores que representa una situación en la que ambos jugadores tienen diferentes preferencias o intereses y deben coordinar sus acciones para alcanzar un resultado deseado. Cada jugador prefiere una opción específica, pero preferiría estar juntos eligiendo la misma opción en lugar de estar separados eligiendo diferentes opciones (Binmore, 1994).

En este juego, hay dos equilibrios de Nash: uno donde ambos jugadores eligen la misma opción, y otro donde ambos jugadores eligen opciones diferentes. Los equilibrios dependen de las preferencias y la importancia relativa que cada jugador le da a las diferentes opciones. La Guerra de los sexos se utiliza para analizar situaciones en las que la coordinación es esencial y cómo las preferencias individuales pueden afectar el resultado final del juego (Binmore, 1994) citado en (Binmore, 2007).

### **2.1.7 Teoría paramétrica de la elección racional.**

La teoría paramétrica de la elección racional es un enfoque dentro de la teoría de la elección racional de la teoría de juegos que busca modelar y comprender el proceso de toma de decisiones individuales en situaciones de incertidumbre. Se basa en la

premisa de que los individuos son racionales y buscan maximizar su utilidad esperada al tomar decisiones (Dieterlen, 1987) citado en (Siggelkow et al., 2018).

En esta teoría, se considera que los individuos toman decisiones evaluando las opciones disponibles y seleccionando aquella que les proporciona el mayor beneficio esperado. El beneficio esperado se calcula teniendo en cuenta la utilidad (satisfacción o valor) que se asigna a cada resultado posible y la probabilidad de que esté previsto ese resultado (Abell, 2000).

La teoría paramétrica de la elección racional utiliza modelos matemáticos para representar y analizar este proceso de toma de decisiones. Estos se basan en la protección de valores numéricos a las diferentes opciones y en la aplicación de reglas de elección basadas en la maximización de la utilidad esperada (Diekmann, 2022).

La importancia de esta teoría radica en su capacidad para explicar y predecir el comportamiento de los individuos en situaciones de incertidumbre. Permite analizar cómo las personas valoran y evalúan las diferentes opciones, teniendo en cuenta la información disponible y las probabilidades asociadas a los resultados posibles. Además, la teoría paramétrica de la elección racional proporciona una base sólida para el diseño de políticas y estrategias, ya que permite evaluar los posibles resultados y sus probabilidades, y tomar decisiones informadas para maximizar los beneficios esperados (Rubinstein et al., 2007).

#### **2.1.7.1 Acciones de los jugadores en la teoría paramétrica de la elección racional**

La Teoría Paramétrica de la Elección Racional (TPER) es un marco teórico utilizado en la economía y otras disciplinas para estudiar el comportamiento de los individuos en situaciones de toma de decisiones. Esta teoría se basa en la premisa de que los individuos actúan de manera racional al tomar decisiones, maximizando su utilidad o beneficio sujeto a ciertas restricciones (Abell, 2000).

En el contexto de la TPER, los jugadores (o individuos que toman decisiones) tienen ciertas acciones o comportamientos que pueden llevar a cabo. Estas acciones son clave para comprender cómo se desarrollan las interacciones estratégicas entre los actores en un escenario específico (Gold y Colman, 2020). A continuación, se enumeran algunas de las acciones típicas que los jugadores pueden realizar en la TPER:

- Elección racional: Los jugadores eligen las acciones que creen que maximizarán su utilidad o beneficio, dadas las opciones disponibles y las restricciones que enfrentan.
- Maximización de la utilidad: Los jugadores buscan maximizar sus ganancias, beneficios o bienestar al seleccionar sus acciones.
- Consideración de opciones: Los jugadores evalúan todas las opciones disponibles y seleccionan aquella que perciben como la más beneficiosa para ellos.



- Evaluación de resultados: Los jugadores consideran las posibles consecuencias de sus acciones y eligen aquellas que les proporcionen el resultado más favorable.
- Respuestas estratégicas: Los jugadores también tienen en cuenta las posibles acciones de otros jugadores y ajustan sus elecciones en consecuencia, adoptando una estrategia que tenga en cuenta el comportamiento de los demás.
- Respuestas a incentivos: Los jugadores pueden ser sensibles a los incentivos y ajustar su comportamiento en función de las recompensas o sanciones asociadas con ciertas acciones.
- Cálculos costo-beneficio: Los jugadores pueden realizar cálculos para comparar los costos de una acción con sus beneficios potenciales antes de tomar una decisión.
- Racionalidad limitada: Aunque se supone que los jugadores son racionales, también se reconoce que pueden tener información limitada, habilidades cognitivas limitadas o tiempo insuficiente para tomar decisiones óptimas.
- Intercambios y negociaciones: Los jugadores pueden interactuar entre sí, negociar o llegar a acuerdos para obtener resultados beneficiosos mutuos.

Es importante tener en cuenta que la TPER no siempre representa perfectamente el comportamiento humano en todas las situaciones, ya que los individuos pueden desviarse de los modelos de elección racional debido a factores emocionales, sociales o cognitivos. Sin embargo, esta teoría sigue siendo una herramienta valiosa para analizar y predecir el comportamiento en muchos contextos económicos y sociales.

#### **2.1.7.2 Equilibrio de la teoría paramétrica de la elección racional.**

En la Teoría Paramétrica de la Elección Racional, el equilibrio se refiere a la situación en la que los individuos toman decisiones óptimas basadas en su maximización de la utilidad esperada. En ese contexto, el equilibrio se alcanza cuando los individuos han evaluado y seleccionado la opción que les proporciona el mayor beneficio esperado, dadas las preferencias y las probabilidades de los resultados (Sánchez, 2009).

El equilibrio en la Teoría Paramétrica de la Elección Racional se puede analizar desde diferentes perspectivas según Herreros (2008):

- Equilibrio estático: Se refiere a la situación en la que las preferencias y las probabilidades de los resultados se mantienen constantes, y los individuos han tomado decisiones que maximizan su utilidad esperada en ese contexto específico. En este equilibrio, no hay incentivos para que los individuos cambien sus decisiones.
- Equilibrio dinámico: Considere el proceso de aprendizaje y ajuste de los individuos a lo largo del tiempo. En este equilibrio, los individuos actualizarán sus preferencias y las probabilidades de los resultados en función de la

retroalimentación y la experiencia, adaptando sus decisiones para maximizar su utilidad esperada a medida que se adquiriera nueva información.

## **2.2 Comportamiento de los conductores en la carretera**

Los comportamientos de los conductores en la carretera pueden variar mucho, pero a continuación se presentan cinco ejemplos comunes explicados por Rosas et al. (2021) y Pérez (2003):

- **Exceso de velocidad:** Uno de los comportamientos más peligrosos en la carretera es el exceso de velocidad. Al conducir a velocidades superiores a los límites claros, los conductores aumentan significativamente el riesgo de accidentes y reducen el tiempo de reacción ante situaciones imprevistas. Además, el exceso de velocidad también puede contribuir a una mayor gravedad de las lesiones en caso de colisión.
- **Distraerse al volante:** La distracción al volante es un problema creciente en la actualidad, especialmente debido al uso de dispositivos electrónicos, como teléfonos móviles. Los conductores distraídos desvían su atención de la carretera, lo que disminuye su capacidad de reacción ante peligros y aumenta el riesgo de accidentes. Ejemplos de distracciones comunes incluyen el uso de teléfonos móviles, comer o beber, ajustar el sistema de navegación, entre otros.
- **No respetar las normas de tránsito:** Algunos conductores no cumplen con las normas de tránsito establecidos, como detenerse en señales de alto, respetar los límites de velocidad, ceder el paso o utilizar los intermitentes al cambiar de carril o girar. Estos comportamientos irresponsables aumentan el riesgo de colisiones y generan situaciones peligrosas para otros usuarios de la vía.
- **Conducir bajo los efectos del alcohol o las drogas:** Conducir bajo la influencia del alcohol o las drogas es extremadamente peligroso y puede tener consecuencias fatales. Estas sustancias debilitan la capacidad de los conductores para tomar decisiones adecuadas, reaccionar rápidamente y mantener el control del vehículo, lo que aumenta significativamente el riesgo de accidentes graves.
- **Agresividad al volante:** Algunos conductores muestran un comportamiento agresivo en la carretera, como adelantar de manera imprudente, seguir de cerca a otros vehículos, realizar maniobras bruscas o hacer gestos obscenos. La agresividad al volante crea un entorno hostil y peligroso en la carretera, aumentando la probabilidad de accidentes y conflictos entre conductores.

Es importante destacar que estos comportamientos son riesgosos y están en contra de las normas de seguridad vial. Se alienta a todos los conductores a seguir las reglas de tránsito, practicar la conducción defensiva y mantener un comportamiento responsable en todo momento.

### **2.2.1 Leyes para disminuir exceso de velocidad de los conductores.**

Para disminuir el exceso de velocidad de los conductores, se pueden implementar una serie de leyes y medidas que promuevan la seguridad vial. Huanca (2021) menciona algunas de ellas:

- Límites de velocidad: Establecer y hacer cumplir límites de velocidad adecuados en diferentes tipos de vías, teniendo en cuenta las condiciones de la carretera, el entorno y la densidad del tráfico.
- Radares de velocidad: Instalar radares de velocidad en puntos estratégicos de las carreteras para detectar a los conductores que exceden los límites permitidos. Esto puede disuadir a los conductores de acelerar excesivamente.
- Sanciones más severas: Imponer multas y sanciones más severas a los conductores que excedan los límites de velocidad. Estas sanciones pueden incluir multas económicas significativas, pérdida de puntos en el permiso de conducir e incluso la suspensión temporal o permanente de la licencia.
- Educación vial: Promover programas de educación vial que enfatizan la importancia de respetar los límites de velocidad y los peligros asociados con la conducción a alta velocidad. Estos programas pueden dirigirse a conductores jóvenes y también a conductores experimentados.
- Control y vigilancia: Incrementar los controles de velocidad por parte de las autoridades de tránsito, con presencia policial y cámaras de vigilancia. Esto puede aumentar la percepción de riesgo y desalentar a los conductores a exceder los límites de velocidad.
- Diseño de carreteras seguras: Mejorar el diseño de las carreteras implementando medidas de seguridad, como la señalización clara, reductores de velocidad, badenes y cruces peatonales seguros. Estas medidas ayudan a reducir la tentación de conducir a alta velocidad.
- Tecnología de asistencia al conductor: Fomentar la instalación y uso de tecnologías de asistencia al conductor, como sistemas de frenado automático de emergencia, control de crucero adaptativo y alertas de velocidad, que contribuyen a prevenir accidentes causados por el exceso de velocidad.

Es importante destacar que la combinación de diferentes enfoques es más efectiva para abordar el exceso de velocidad. Además, es fundamental que las leyes y medidas se apliquen de manera consistente y que exista una cultura de respeto a las normas de tránsito en la sociedad.

### **2.2.2 La educación vial y el comportamiento de los conductores en la carretera.**

La educación vial y el comportamiento de los conductores en la carretera son aspectos interrelacionados y de gran importancia para promover la seguridad vial. La educación vial desempeña un papel fundamental en la formación de conductores responsables y conscientes de los riesgos en la carretera. González (2011), presento

algunos puntos clave sobre la educación vial y su relación con el comportamiento de los conductores:

- **Conocimiento de las normas de tránsito:** La educación vial proporciona a los conductores el conocimiento necesario sobre las normas de tránsito, incluyendo los límites de velocidad, señales de tráfico, reglas de adelantamiento, prioridades en las intersecciones, entre otros. Al entender y cumplir con estas normas, los conductores pueden contribuir a la seguridad vial y evitar comportamientos arriesgados.
- **Concientización sobre los riesgos:** La educación vial tiene como objetivo crear conciencia sobre los riesgos asociados con la conducción, como los accidentes de tráfico, lesiones y pérdidas de vidas. A través de campañas de sensibilización y programas educativos, se busca que los conductores comprendan la importancia de respetar las normas de tránsito y adoptar comportamientos seguros en la carretera.
- **Desarrollo de habilidades de conducción:** La educación vial también se enfoca en el desarrollo de habilidades de conducción segura. Esto incluye la enseñanza de técnicas de manejo defensivo, anticipación de situaciones de riesgo, toma de decisiones adecuadas y control del vehículo en diferentes condiciones de la carretera. Una conducción más segura y responsable contribuye a reducir el exceso de velocidad y otros comportamientos peligrosos.
- **Promoción de actitudes responsables:** La educación vial busca promover actitudes responsables entre los conductores, fomentando el respeto por los demás usuarios de la vía y la conciencia de las consecuencias de las acciones individuales en el tráfico. Esto implica evitar comportamientos agresivos al volante, como el exceso de velocidad, el adelantamiento peligroso o el uso del teléfono móvil mientras se conduce.
- **Actualización constante:** La educación vial no se limita solo a los conductores novatos, sino que también es importante promover la actualización constante de los conocimientos y habilidades de conducción a lo largo de la vida. La evolución de las tecnologías y las nuevas regulaciones requiere que los conductores estén informados y preparados para adaptarse a los cambios en el entorno de conducción.

La educación vial desempeña un papel esencial en la formación de conductores responsables y en la promoción de comportamientos seguros en la carretera. Al mejorar la educación vial y fomentar una actitud responsable, se puede reducir el exceso de velocidad y otros comportamientos riesgosos, contribuyendo así a la seguridad vial de todos los usuarios de la vía.

### **2.2.3 Comportamiento de los choferes en las carreteras**

El comportamiento del conductor es el factor más importante para la seguridad en la conducción en carretera (Wang, 2017). Dado que los humanos son los principales

usuarios de las carreteras, sus comportamientos de conducción influyen en la seguridad y la eficiencia del tráfico. Se informó que más del 90% de los accidentes de tránsito de vehículos ligeros en los Estados Unidos fueron causados por errores del conductor, como mala conducta y errores involuntarios, que son similares a otros países del mundo. También se mencionó en Lv et al. (2017) que los accidentes de tráfico podrían reducirse en un 10% y 20% reconociendo correctamente los comportamientos de los conductores. Por lo tanto, es fundamental tener una perspectiva clara del comportamiento del conductor y las tareas que se realizan.

Los conductores humanos han sido ampliamente estudiados desde la década de 1970. El estudio de los conductores humanos es un proyecto enorme en muchos aspectos. La mayor parte de la investigación existente se encuentra en los ámbitos de los comportamientos del conductor, la atención y la intención del conductor, la somnolencia y la fatiga del conductor, los músculos cognitivos y neurales del conductor, etc. Todos estos estudios tienen un objetivo común, que es obtener una mejor comprensión de los conductores. desde un aspecto psicológico o fisiológico para ayudar en las tareas de conducción y aumentar la seguridad en la conducción (Jain et al., 2015).

Comprender a los conductores es necesario tanto para los vehículos convencionales como para los vehículos automatizados. En los Estados Unidos y China, se han producido accidentes cuando un conductor de Tesla confiaba o confiaba únicamente en el sistema de piloto automático mientras conducía. Para los vehículos automatizados de nivel inferior, especialmente para los vehículos automatizados de nivel dos y tres (Ontanón et al., 2017), los conductores deben sentarse en el asiento del conductor y son responsables de los problemas de seguridad. En estos vehículos, el conductor puede realizar tareas secundarias de entretenimiento; sin embargo, debido a la limitación parcialmente automatizada, el conductor debe tomar el control de las emergencias. Por lo tanto, el seguimiento de los conductores humanos y determinar si pueden volver a la tarea de conducción es más importante que en los vehículos convencionales.

#### **2.2.4 Conducta de conducción agresiva**

El comportamiento del conductor agresivo toma muchas formas. Los comportamientos típicos de conducción agresiva incluyen el exceso de velocidad, conducir demasiado cerca del coche de delante, no respetar las normas de tráfico, cambiar de carril o zigzaguear de forma incorrecta, etc. La mayoría de las personas conducen agresivamente de vez en cuando y muchos conductores ni siquiera son conscientes de que lo están haciendo (Óskarsson, 2010).

La conducción agresiva es difícil de definir debido a sus muchas manifestaciones diferentes, pero tener una definición clara es importante para que la policía y las acciones legales en su contra tengan éxito. Una Conferencia Web Global sobre Problemas de Conducción Agresiva organizada en Canadá en octubre de 2000

ofreció la siguiente definición: "Un comportamiento de conducción es agresivo si es deliberado, es probable que aumente el riesgo de colisión y está motivado por la impaciencia, la molestia, la hostilidad y/o un intento para ganar tiempo."

Según una encuesta de EOS Gallup Europe (2003) sobre el comportamiento agresivo al volante concluida en enero de 2003, el problema está muy extendido. El 66 por ciento de los encuestados en los Estados Unidos, el 65 por ciento en la Federación Rusa y el 48 por ciento en la Unión Europea en su conjunto informaron haber sido víctimas de un comportamiento de conducción agresivo en el año anterior. La encuesta también muestra una fuerte relación entre mostrar un comportamiento agresivo y ser víctima de él:

La encuesta muestra que, aunque no es un fenómeno nuevo, el comportamiento agresivo está aumentando. Cuando se les preguntó si la agresividad de los conductores ha aumentado en los últimos años, el 65 por ciento de los encuestados en Rusia, el 75 por ciento de los encuestados en la UE y el 80 por ciento de los encuestados en los Estados Unidos estuvieron de acuerdo (Piercy, 2016).

### **2.2.5 ¿Cuáles son las causas de la conducción agresiva?**

Hay muchos enfoques teóricos diferentes para el comportamiento agresivo y ninguno se considera una explicación completa. Mc Nally & Stone (2001) explica que las teorías biológicas consideran que el comportamiento agresivo es innato, aunque las respuestas específicas pueden modificarse con la experiencia. En la tradición psicoanalítica, la hipótesis de la frustración-agresión se centra en el papel de los factores externos. Se cree que las situaciones frustrantes que impiden o previenen alguna forma de comportamiento continuo dirigido a un objetivo actúan como un catalizador para el comportamiento agresivo. Los enfoques de aprendizaje social, por otro lado, argumentan que la agresión es una respuesta aprendida a través de la observación o la imitación de otros socialmente relevantes. Todos estos enfoques difieren en su énfasis, pero generalmente se asume que el comportamiento agresivo es el resultado combinado de estos factores.

Muchos factores psicológicos están en juego en la conducción agresiva y muchos pueden resultar difíciles de controlar. Los seres humanos son naturalmente propensos a la territorialidad y tienden a ver su vehículo como una extensión de su dominio personal. Se sienten amenazados por otros vehículos y responden de forma agresiva o por instinto de autoprotección (Kontogiannis et al., 2002).

Iversen (2004) explica que conducir también puede hacer que algunos sientan una sensación de poder detrás del volante que no tienen en sus trabajos o familias, por ejemplo, y en algunos casos incluso puede manifestarse en un efecto "Jekyll y Hyde", donde alguien normalmente cortés se vuelve agresivo al conducir.

El instinto competitivo natural del hombre para Felix et al. (2000) también puede ser un factor en la conducción agresiva. Algunos conductores responden al hecho de ser adelantados por otro vehículo como un desafío. Esto, a su vez, puede dar lugar a exhibiciones y carreras a velocidades por encima del límite de velocidad ya que los conductores realicen maniobras de adelantamiento arriesgadas. Otro ejemplo de competencia en la carretera son los conductores que corren para salir más rápido en los semáforos (James, 2000).

Más graves aún son los conductores que intentan amenazar o castigar a otros por un comportamiento de conducción particular que les desagrada. Esto también se conoce como una actitud de "vigilante" e incluye comportamientos tales como conducir demasiado cerca del vehículo de adelante, frenar repentinamente como advertencia para el vehículo de atrás, bloquear deliberadamente el carril de adelantamiento, usar las luces delanteras para castigar a otros conductores, y gritar o hacer gestos obscenos a otros conductores (Kontogiannis et al., 2002).

Todos estos comportamientos se ven exacerbados por el estrés y las presiones de tiempo de la vida moderna. Rudin-Brown y Parker (2004) explican que las carreteras cada vez más concurridas y congestionadas también provocan sentimientos de frustración y son responsables de casos de conducción agresiva y falta de respeto hacia los demás conductores como el uso ilegal del arcén, cambiar de carril sin señalizar, impedir que otros vehículos entren en un carril de circulación. También conducen a la ira por los conductores lentos, por ejemplo, y por los semáforos que parecen tardar demasiado en cambiar.

Las investigaciones Wilde et al. (2002) muestran que las personas que experimentan sentimientos agresivos/emocionales o de enojo antes de subirse a su automóvil tienen más probabilidades de continuar con este comportamiento detrás del volante. Además, el uso de alcohol y drogas también puede aumentar la probabilidad de conducción agresiva.

Además de todo esto, los medios de comunicación nos bombardean con representaciones de conducción agresiva que se muestran en un contexto divertido, como las persecuciones de automóviles en las películas y los videojuegos para niños. La conducción agresiva es un comportamiento aprendido. Los niños aprenden sobre la conducción agresiva de sus padres (Felix et al., 2000).

## **2.2.6 Tráfico vehicular**

El tráfico vehicular se puede definir como el fenómeno causado por el flujo de vehículos en una carretera (Mozo, 2012), autopista u otra vía de transporte. El tráfico vehicular puede estar influenciado por una variedad de factores, incluyendo la densidad de población, la preferencia de los usuarios de transporte, los patrones de trabajo y residencia, y la disponibilidad de infraestructuras de transporte. La teoría del tráfico vehicular es una disciplina que ha surgido para estudiar el comportamiento del tráfico y

las posibles soluciones a los problemas asociados con el mismo, como la congestión, la seguridad vial, y la contaminación.

### **2.2.6.1 Efectos sociales que afectan el tráfico**

Los efectos sociales que pueden afectar el tráfico vehicular incluyen la densidad de población, la planificación urbana, la distribución de los lugares de trabajo y residencia, las preferencias de transporte de la población y el comportamiento humano en el tráfico, incluyendo el respeto por las señales de tráfico y las normas de circulación (Frakt, 2019). Además, los cambios demográficos y económicos, como el envejecimiento de la población, el aumento del número de jóvenes conductores y los cambios en los patrones de trabajo, pueden influir en el tráfico vehicular. En resumen, los efectos sociales pueden tener un impacto significativo en el tráfico vehicular y es importante considerarlos al planificar la infraestructura de transporte y programas de seguridad vial.

### **2.2.6.2 Efectos económicos ocasionados por el tráfico**

Los efectos económicos relacionados con el tráfico pueden incluir aspectos como los costos de combustible, mantenimiento y reparación de vehículos, además de otros costos asociados al transporte, como los costos de peajes y estacionamiento. También pueden influir el nivel de empleo y la actividad económica en una región, ya que estos pueden afectar el flujo de tráfico en carreteras y sistemas de transporte (OMS, 2020).

Además, según Sánchez et al. (2019), los costos económicos derivados de los accidentes de tráfico, como la atención médica y la reparación de la infraestructura vial, también pueden tener un impacto significativo en la economía de una región. Los costos económicos de la congestión del tráfico, que incluyen los retrasos de tiempo y la pérdida de productividad, también pueden ser importantes.

En general, una infraestructura de transporte eficiente y bien mantenida puede tener un impacto positivo en la economía de la región, mientras que la congestión del tráfico y los accidentes pueden tener un impacto negativo en la economía.

### **2.2.7 Consecuencias económicas ocasionados por el tráfico vehicular**

Dietsche (2005) explica que las principales consecuencias del comportamiento del conductor en la carretera pueden incluir:

- Accidentes de tráfico: La negligencia, el exceso de velocidad, la conducción distraída y otros comportamientos imprudentes pueden aumentar el riesgo de accidentes de tráfico, lo que puede resultar en lesiones graves o incluso la muerte.



- **Costos financieros:** Los accidentes de tráfico pueden resultar en costos financieros significativos para los conductores y los propietarios de vehículos, como el pago de reparaciones de vehículos, el costo de atención médica y la pérdida de ingresos debido a discapacidades o tiempo perdido en el trabajo.
- **Pérdida de puntos de conducir:** Muchos países tienen un sistema de puntos de conducir, donde los conductores pueden perder puntos en su licencia de conducir en función de infracciones y comportamientos peligrosos en la carretera, resultando en sanciones y multas financieras.
- **Problemas legales:** Los conductores que no obedecen las normas de tráfico y que se ven involucrados en accidentes pueden enfrentar consecuencias legales, incluyendo multas, sentencias de prisión y pérdida de licencia de conducir.
- **Infracciones y sanciones:** Las infracciones pueden incluir exceso de velocidad, no respetar los semáforos y señales de tráfico, maniobras peligrosas, manejo bajo los efectos del alcohol o sustancias psicoactivas, y cualquier otra violación de las leyes de tráfico que puede resultar en sanciones.

En general, las consecuencias del comportamiento imprudente del conductor en la carretera pueden tener un impacto significativo en la seguridad, las finanzas y la calidad de vida de las personas. Es importante acatar las reglas de tráfico y mantener la prudencia mientras conducimos para garantizar nuestra seguridad y la de los demás en las carreteras.

### **2.2.8 Principales consecuencias del comportamiento del conductor en el tráfico vehicular**

Las principales consecuencias del comportamiento del conductor en el tráfico vehicular pueden incluir accidentes de tráfico, costos financieros, pérdida de puntos de conducir, problemas legales y sanciones. El comportamiento imprudente, como la negligencia, el exceso de velocidad y la conducción distraída pueden aumentar el riesgo de accidentes y lesiones graves o incluso la muerte (NHTSA, 2021). Los conductores que no obedecen las normas de tráfico y se ven involucrados en accidentes pueden enfrentar consecuencias legales y financieras, incluyendo multas y sentencias de prisión. Además, las infracciones pueden resultar en la pérdida de puntos de conducir y la suspensión de la licencia. En general, el comportamiento del conductor puede tener un impacto significativo en la seguridad, las finanzas y la calidad de vida de las personas, por lo que es importante obedecer las reglas de tráfico y mantener la prudencia mientras conducimos.

## CAPÍTULO III

### 3 METODOLOGÍA

En esta investigación se utilizará el método empírico-analítico ya que es una metodología que combina el enfoque empírico con el análisis teórico para obtener conclusiones o basarse en un determinado campo de estudio. Este método se utiliza en diversas disciplinas científicas y puede aplicarse a la teoría paramétrica de la elección racional en el comportamiento de los usuarios de la carretera.

Por lo que, se utilizara la aplicación de la teoría de juegos en la teoría paramétrica de la elección racional, basándose en los estudios de Näätänen & Summala (1976); Tsebelis (1989) y Elvik (2014), quienes mediante expresiones matemáticas de probabilidad analizan el comportamiento de los dos agentes, es decir el comportamiento del conductor y la policía, permitiendo conocer su respectivo equilibrio ya sea este estático o dinámico.

La teoría tradicional de la elección racional o teoría de la decisión es paramétrica, es decir, las probabilidades de diferentes resultados son exógenas y no dependen de la decisión elegida. La decisión del conductor de un automóvil de violar o no el límite de velocidad se puede analizar de la siguiente manera, con base en la teoría paramétrica de la elección racional. Un modelo de teoría de juegos tiene en cuenta la dependencia entre dos o más actores que influyen conjuntamente en los resultados y, por lo tanto, en la rentabilidad de cada uno. Esta es una situación de este tipo: ambas partes influyen en el resultado, es decir, el nivel de infracciones de velocidad y aplicación. Un modelo de teoría de juegos es la forma correcta de modelar simultáneamente la decisión de las autoridades de hacer cumplir o no, dependiendo de las elecciones combinadas de los conductores, y las elecciones de los conductores dependen de la elección hecha por el ejecutor.

El uso de un modelo de teoría de juegos podría verse como una elaboración del argumento presentado por las diversas teorías de la adaptación conductual (OCDE 1990). El quid del argumento en estas teorías es el mismo que aquí: los usuarios de la carretera no son receptores pasivos (paramétricos) de medidas de seguridad. Son actores estratégicos que aprovechan cualquier medida disponible para alcanzar sus objetivos, que no siempre es maximizar la seguridad vial. Las teorías de la adaptación del comportamiento han señalado debidamente el hecho de que ver a los usuarios de la carretera como entidades paramétricas o "naturaleza" es un error fatal que podría dar lugar a un efecto de falta de seguridad de las posibles medidas de seguridad.

Como ejemplo de un modelo paramétrico, el nivel de exceso de velocidad está determinado por los beneficios que obtienen los conductores de automóviles de diferentes alternativas y por el nivel de control. Para completar el modelo, también se va a incluir los pagos al ejecutor de los diferentes resultados. Los pagos a los conductores

de automóviles, donde  $a_1 - d_1$  son los pagos de los conductores de automóviles de los diferentes resultados y  $a_2 - d_2$  son los pagos correspondientes al ejecutor.

Se argumentará como el nivel de exceso de velocidad depende del nivel de cumplimiento, el nivel de cumplimiento depende del nivel de exceso de velocidad. Se hará las siguientes suposiciones:

**A1.** El conductor del automóvil prefiere acelerar si no hay policía alrededor ( $b_1 > d_1$ ).

**A2.** El conductor del automóvil prefiere no acelerar si la policía está presente ( $c_1 > a_1$ ).

**A3.** Si los conductores de automóviles eligen acelerar, los ejecutores optarán por hacer cumplir ( $a_2 > b_2$ ).

**A4.** Si los automovilistas no aceleran, los ejecutores preferirán no aplicar ( $d_2 > c_2$ ).

Los supuestos A1 a A4 implican que los conductores de automóviles conducirán por encima del límite de velocidad si no hay control policial. Esto, a su vez, conducirá a la aplicación de la ley, lo que hará que los conductores de automóviles respeten el límite de velocidad. Cuando los conductores de automóviles observan los límites de velocidad, los encargados de hacer cumplir la ley dejarán de hacerlo, lo que nuevamente hará que los conductores de automóviles violen el límite de velocidad.

En este juego no existe un punto de equilibrio basado en las llamadas estrategias puras de los actores. Un punto de equilibrio es un resultado en el que ninguno de los actores puede mejorar su resultado cambiando unilateralmente su elección. Por lo tanto, un punto de equilibrio es generalmente un resultado estable. En todos los resultados mencionados anteriormente, el conductor del automóvil o el ejecutor están motivados para modificar su elección, y la situación es muy inestable.

## CAPÍTULO IV

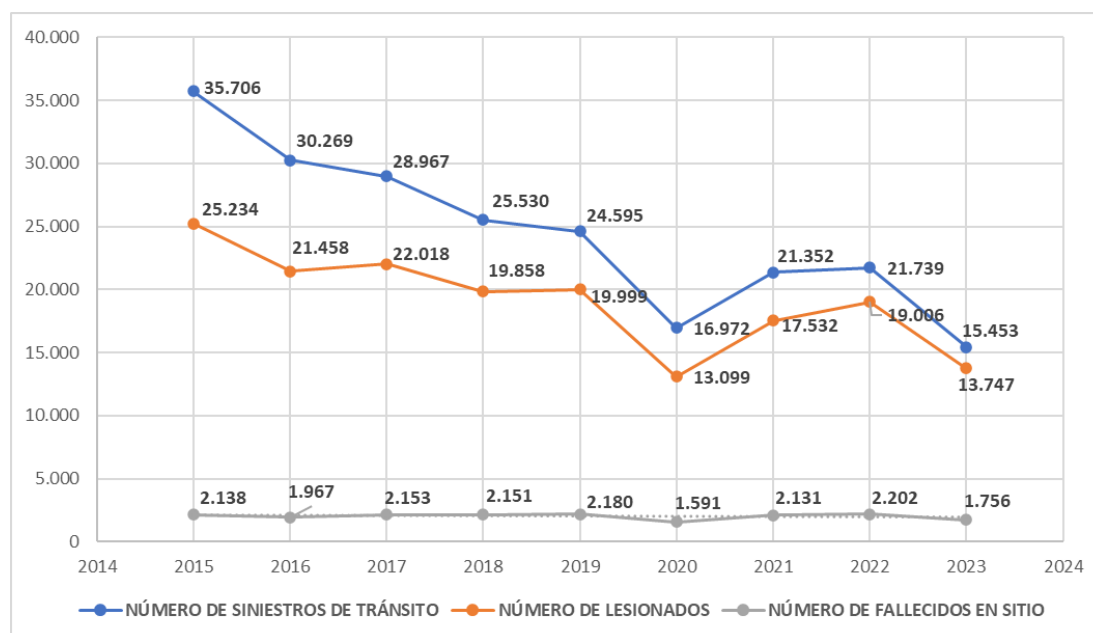
### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.2 Resultados

##### 4.2.1 Evaluación de siniestros de tránsito en el Ecuador

El análisis de los siniestros de tránsito es crucial para la comprensión y mejora de la seguridad vial. Estos incidentes representan momentos críticos en la interacción entre vehículos y peatones en las vías, y su estudio proporciona valiosas perspectivas sobre las causas de ocurrencia, patrones y consecuencias de estos eventos. Por ello es esencial el análisis de datos históricos de siniestros de tránsito detallados en la gráfica 1.

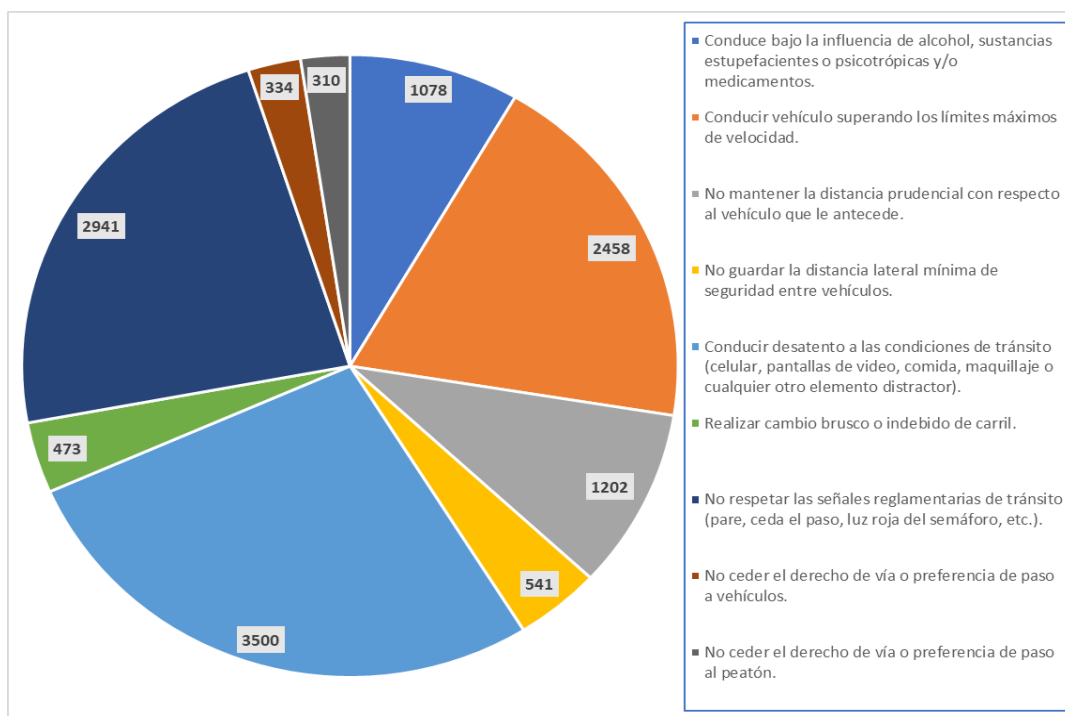
**Gráfico 3.** Número de siniestros de tránsito, lesionados y fallecidos en sitio por año de ocurrencia en el Ecuador. Periodo 2015 a septiembre del 2023



*Nota.* Elaboración propia con base en las cifras de la Agencia Nacional de Tránsito, ANT (2023)

Mediante los datos históricos anuales de siniestros de tránsito, lesionados y fallecidos en el Ecuador, en el año 2015 se registró 35.706 siniestros de tránsito, con 25.234 lesionados y 2.138 fallecidos, cifras que han experimentado una reducción en años posteriores. Pero en el año 2019 pese a sufrir reducción de siniestros, se registró 2.180 fallecidos en el sitio, siendo uno de los valores más altos del periodo al igual que en el año 2022. Por otra parte, en el año 2020, se registra valores bajos de siniestros de tránsito, tanto lesionados como fallecidos, esto debido a los limitantes de la circulación y movilidad implementadas por el gobiernos autónomos descentralizados en su intención de frenar la propagación del virus COVID-19 (Vera et al., 2022). En años posteriores, los valores sufren nuevamente un incremento.

**Gráfico 4.** Siniestros de tránsito en el Ecuador, según causa probable de enero a septiembre del 2023



*Nota.* Elaboración propia con base en las cifras de la Agencia Nacional de Tránsito, ANT (2023).

Con respecto a los siniestros de tránsito se evidencia varias de las causas probables de este suceso, en donde, es notorio que la causa de siniestros más alta es la conducción desatenta por el uso de aparatos electrónicos, con 3500 siniestros, la conducción bajo la influencia del alcohol o sustancias estupefacientes con 2941 siniestros, seguido por la conducción de vehículos a alta velocidad con 2458 siniestros, entre otras. Esto permite evidenciar que, los malos hábitos y la conducción aberrante, da como consecuencia pérdidas vitales y materiales.

#### 4.2.2 Teoría paramétrica de la elección racional

La teoría tradicional de la elección racional o teoría de la decisión es paramétrica, es decir, las probabilidades de diferentes resultados son exógenas y no dependen de la decisión elegida. La decisión del conductor de un automóvil de violar o no el límite de velocidad se puede analizar de la siguiente manera, con base en la teoría paramétrica de la elección racional. Hacemos las siguientes suposiciones (Tabla 1):

**A1.** El conductor del automóvil prefiere acelerar si no hay policía alrededor ( $b_1 > d_1$ ).

**A2.** El conductor del automóvil prefiere no acelerar si la policía está presente ( $c_1 > a_1$ ).

**Tabla 1.** Pagos al conductor del automóvil por exceso de velocidad y por no exceso de velocidad en función de la presencia o ausencia de la policía

		RESULTADOS	
		Policia	Sin Policia
ALTERNATIVAS	Velocidad	$a_1$	$b_1$
	Sin Velocidad	$c_1$	$d_1$

**Nota.** Realizado por Tsebelis (1989).

Para llegar a una decisión, el conductor del automóvil debe tener una idea de la probabilidad de que la policía esté presente. Por lo que se supone que una estimación de esta probabilidad ( $p$ ) se obtiene a partir de la experiencia. Ya que la teoría de la decisión convencional predice que el conductor de un automóvil elegirá acelerar si la utilidad esperada del exceso de velocidad es mayor que la utilidad esperada del no exceso de velocidad. En términos formales, un conductor acelerará si:

$$[a_1 * p + b_1 * (1 - p)] - [c_1 * p + d_1 * (1 - p)] > 0$$

Por otro lado, si la expresión es menor que cero, el conductor del automóvil observará el límite de velocidad.

De la expresión anterior se ve fácilmente que la decisión del conductor puede verse influenciada de dos maneras: ya sea manipulando el tamaño de  $p$  o manipulando los pagos  $a_1/b_1/c_1/d_1$ . La probabilidad  $p$  se puede cambiar simplemente aumentando o disminuyendo el nivel de cumplimiento. Quizás sea más difícil cambiar los pagos de un conductor de automóvil, pero se puede manipular fácilmente cambiando el monto de la multa. Es más difícil cambiar las recompensas del conductor de exceso de velocidad y no exceso de velocidad cuando no hay policía. Esto implica cambiar actitudes y es, por supuesto, una tarea más difícil.

Analizar el problema de decisión de un conductor de automóvil en estos términos podría, a primera vista, parecer muy plausible. El problema es que uno comete la falacia de Robinson Crusoe.

Según Tsebelis (1989) la falacia de Robinson Crusoe es comportarse como si el entorno no estuviera influenciado por la propia acción, cuando en realidad consiste en otros actores racionales cuyas acciones están influenciadas por las propias acciones. El conductor del automóvil en nuestro ejemplo se comporta como si el nivel de aplicación fuera independiente de si él y otros conductores cumplen o no con la ley.

Si el conductor de nuestro automóvil es el único que ignora el límite de velocidad, un análisis paramétrico podría ser suficiente, es decir, el nivel de aplicación no se verá afectado por un solo infractor. Pero si el conductor de nuestro automóvil es representativo, su estimación de la probabilidad de control policial será aproximadamente la misma que las estimaciones de otros conductores y, por lo tanto, si

nuestro conductor obtiene una mayor utilidad esperada del exceso de velocidad que de la falta de exceso de velocidad, también lo harán los demás conductores. Debido a que el nivel de control no es fijo, sino que lo elige un agente racional, el nivel de infracciones de velocidad probablemente influirá en el nivel de control.

Por lo que, es necesario en nuestro ejemplo considerar que, no se puede reemplazar la acción de la policía por una distribución de probabilidad independiente de los actos elegidos por los conductores.

#### **4.2.3 Un modelo de la teoría del juego del comportamiento del usuario de la carretera y las opciones de cumplimiento.**

Un modelo de teoría de juegos tiene en cuenta la dependencia entre dos o más actores que influyen conjuntamente en los resultados y, por lo tanto, en los beneficios mutuos. Lo que recae en una situación en donde ambas partes influyen en el resultado, es decir, el nivel de infracciones de velocidad y aplicación. Siendo la teoría de juegos la forma correcta de modelar simultáneamente la decisión de las autoridades de hacer cumplir o no, dependiendo de las elecciones combinadas de los conductores, y las elecciones de los conductores dependen de la elección hecha por el ejecutor.

Es por esto por lo que, el uso de un modelo de teoría de juegos podría verse como una elaboración del argumento presentado por las diversas teorías de la adaptación conductual (OCDE 1990). En donde, el quid de argumento en estas teorías sostiene que, los usuarios de la carretera no son receptores pasivos (paramétricos) de medidas de seguridad, sino más bien actores estratégicos que aprovechan cualquier medida disponible para alcanzar sus objetivos, que no siempre es maximizar la seguridad vial. Cabe mencionar que las teorías de la adaptación del comportamiento han señalado debidamente el hecho de que ver a los usuarios de la carretera como entidades paramétricas o "naturaleza" es un error fatal que podría dar lugar a un efecto de falta de seguridad de las posibles medidas de seguridad.

Pero, las teorías de la adaptación del comportamiento no han considerado simultáneamente las acciones elegidas por un ejecutor como una respuesta al comportamiento del usuario de la vía. En ese sentido, se podría argumentar que el uso de un modelo de teoría de juegos es un desarrollo posterior de la línea de pensamiento que se propone en las teorías de la adaptación del comportamiento.

En el ejemplo de un modelo paramétrico, el nivel de exceso de velocidad está determinado por los beneficios que obtienen los conductores de automóviles de diferentes alternativas y por el nivel de control. Para completar el modelo, también se debe incluir los pagos al ejecutor de los diferentes resultados. Los pagos a los conductores de automóviles y al ejecutor se muestran en la Tabla 2, donde  $a_1 - d_1$  son los pagos de los conductores de automóviles de los diferentes resultados y  $a_2 - d_2$  son los pagos correspondientes al ejecutor (ley).

**Tabla 2.** El juego de la aplicación. Pagos a los conductores de automóviles y ejecutores de diferentes combinaciones de infracciones de control y velocidad

		EJECUTOR	
		Hacer cumplir	No hacer cumplir
CONDUCTORES	Velocidad	a1, a2	b1,b2
	Sin velocidad	c1, c2	d1,d2

**Nota.** Realizado por el autor basado en Tsebelis (1989)

Ahora se argumenta que, así como el nivel de exceso de velocidad depende del nivel de cumplimiento, el nivel de cumplimiento depende del nivel de exceso de velocidad. Hacemos las siguientes suposiciones:

**A3.** Si los conductores de automóviles eligen acelerar, los ejecutores optarán por hacer cumplir ( $a_2 > b_2$ ).

**A4.** Si los automovilistas no aceleran, los ejecutores preferirán no aplicar ( $d_2 > c_2$ ).

Los supuestos A1 a A4 implican que los conductores de automóviles conducirán por encima del límite de velocidad si no hay control policial. Esto, a su vez, conducirá a la aplicación de la ley, lo que hará que los conductores de automóviles respeten el límite de velocidad. Cuando los conductores de automóviles observan los límites de velocidad, los encargados de hacer cumplir la ley dejarán de hacerlo, lo que nuevamente hará que los conductores de automóviles violen el límite de velocidad.

En este juego no existe un punto de equilibrio basado en las llamadas estrategias puras de los actores. Un punto de equilibrio es un resultado en el que ninguno de los actores puede mejorar su resultado cambiando unilateralmente su elección. Por lo tanto, un punto de equilibrio es generalmente un resultado estable. En todos los resultados mencionados anteriormente, el conductor del automóvil o el ejecutor están motivados para modificar su elección, y la situación es muy inestable.

De acuerdo con la teoría de juegos estándar, existe un único punto de equilibrio en dicho juego si ambas partes adoptan una estrategia mixta. Una estrategia mixta consiste simplemente en elegir una de las estrategias puras con probabilidad  $p$ , y la otra con probabilidad  $1 - p$ .

Cada una de las partes puede lograr un llamado nivel de seguridad mediante el uso de una estrategia mixta. En este ejemplo, un ejecutor puede optar por hacer cumplir con probabilidad  $q$  y no hacer cumplir con probabilidad  $1 - q$  para que los conductores de automóviles no puedan alcanzar un pago por encima del valor  $V$  (seguridad vial), sin importar lo que hagan. Lo mismo ocurre con los conductores de automóviles, también pueden mantener un nivel de seguridad que limita el pago al ejecutor a un valor específico. De acuerdo con la teoría de juegos, la mejor manera de



maximizar la utilidad esperada de uno en un juego no cooperativo con preferencias antagónicas y sin equilibrio de estrategia pura es elegir una estrategia mixta específica, que se denomina estrategia minimax en el lenguaje de la teoría de juegos. Se considera a esta como la estrategia de equilibrio.

Para el ejecutor, la estrategia de equilibrio consiste en seleccionar "hacer cumplir" y "no hacer cumplir" de tal manera que la utilidad esperada (EU) de exceso de velocidad de los conductores de automóviles sea igual a la utilidad esperada de no exceso de velocidad. Esto se puede calcular de la siguiente manera:

$$EU(\text{velocidad}) = q(a_1) + (1 - q)(b_1) \quad (1)$$

$$EU(\text{No velocidad}) = q(c_1) + (1 - q)(d_1) \quad (2)$$

EU(velocidad) = EU(no velocidad) cuando:

$$q(a_1) + (1 - q)(b_1) = q(c_1) + (1 - q)(d_1) \quad (3)$$

Resolviendo esto para  $q$  se obtiene:

$$q = (b_1c_1 - a_1d_1)/(b_1 - d_1 + c_1 - a_1) \quad (4)$$

Al elegir "hacer cumplir" con probabilidad  $q$  y "no hacer cumplir" con probabilidad  $1 - q$ , el ejecutor puede limitar la utilidad esperada de los conductores de automóviles al máximo a  $V$ .  $V$  puede calcularse usando esta expresión para  $q$  en la ecuación (1) o (2):

$$V = (b_1c_1 - a_1d_1)/(b_1 - d_1 + c_1 - a_1) \quad (5)$$

Se podría argumentar que el objetivo del ejecutor no es maximizar la utilidad esperada sino aumentar la seguridad vial. Se podría argumentar que el ejecutor puede optar por hacer cumplir con una probabilidad ligeramente mayor que  $q$  (Hamburger, 1979). Por lo tanto, para los conductores, la utilidad esperada de cumplir con el límite de velocidad será mayor que la utilidad esperada de violar el límite de velocidad y, por lo tanto, los conductores de automóviles elegirán lo primero.

Puede parecer muy tentador, quizás también racional, que el ejecutor elija una probabilidad de ejecución que sea suficiente para disuadir a los conductores. Pero, dadas las suposiciones, esta no puede ser una solución estable, porque el ejecutor reducirá el nivel de cumplimiento cuando los conductores de automóviles cumplan con la ley.

Lo mencionado puede ser probable. Aunque los encargados de hacer cumplir la ley no tienen como objetivo maximizar la utilidad, las autoridades tienen que establecer prioridades, y es fácil argumentar que los esfuerzos policiales deben canalizarse hacia otras áreas cuando no hay, o casi no hay, infracción de velocidad. De hecho, tal argumento fue utilizado por el ministro de Justicia de Noruega cuando se decidió que la

fuerza de policía móvil (UP) no obtendría la financiación que había solicitado, debido a que los accidentes por exceso de velocidad se redujeron, haciendo que la presencia policial no sea tan necesaria en las carreteras.

Un posible problema en el modelo presentado anteriormente es, como afirma correctamente Hamburger (1979), que las dos partes en este juego no son iguales. El ejecutor podría ser considerado razonablemente como un agente racional, pero, por supuesto, hay muchos conductores y el nivel de infracciones de velocidad es la suma de sus elecciones individuales. Por lo tanto, puede parecer un poco extraño calcular una estrategia de equilibrio correspondiente para los impulsores.

Sin embargo, podemos interpretar la proporción de conductores que violan y la proporción de conductores que observan como una expresión de la probabilidad de violar vs no violar. Si se aumenta el nivel de aplicación, se deduce del supuesto A1 que se reducirá la proporción de conductores de automóviles que incumplen la ley. Asimismo, si se reduce el nivel de aplicación de la ley, aumentará la proporción de conductores de automóviles que cometen infracciones. A partir de este tipo de razonamiento, podría ser muy interesante calcular la estrategia de equilibrio de los conductores de automóviles, es decir, qué nivel de violación de la velocidad hará que el ejecutor sea indiferente entre "hacer cumplir" y "no hacer cumplir".

Esto se puede calcular de manera similar a la anterior; es decir, se examina cuando la utilidad esperada del ejecutor de hacer cumplir es igual a la utilidad esperada de no hacer cumplir.

$$EU(\text{Hacer cumplir}) = p(a_2) + (1 - p)(c_2) \quad (6)$$

$$EU(\text{No hacer cumplir}) = p(b_2) + (1 - p)(d_2) \quad (7)$$

UE(hacer cumplir) = UE(no hacer cumplir) cuando:

$$p(a_2) + (1 - p)(c_2) = p(b_2) + (1 - p)(d_2) \quad (8)$$

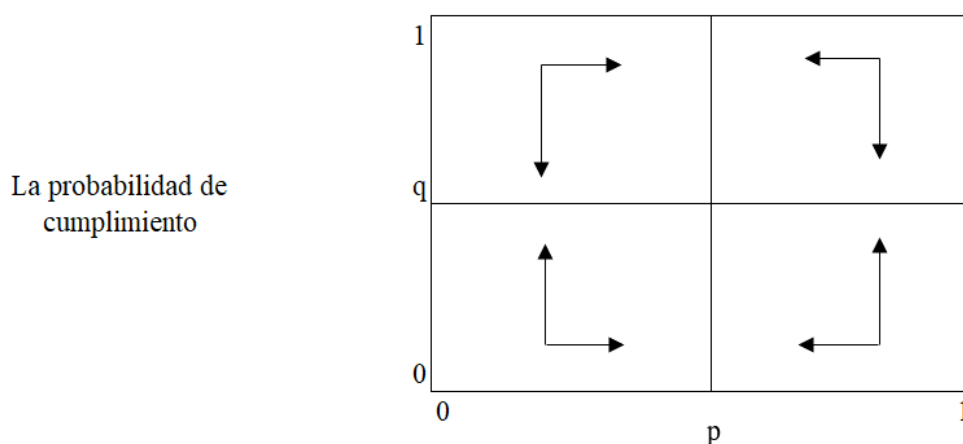
Resolviendo esto para  $p$  se obtiene:

$$p = (d_2 - c_2)/(a_2 - b_2 + d_2 - c_2) \quad (9)$$

Así como el ejecutor puede hacer que los conductores sean indiferentes entre observar y violar el límite de velocidad, los conductores pueden hacer que el ejecutor sea indiferente entre cumplir o no cumplir. Ahora, el único punto de equilibrio estable en este juego surge cuando ambas partes juegan sus estrategias de equilibrio.

Esto se ilustra en la Fig. 2, en donde el eje vertical representa la probabilidad de cumplimiento y el eje horizontal representa la probabilidad de infracciones de velocidad. Se muestran las estrategias de equilibrio  $q$  (para el ejecutor) y  $p$  (para los conductores), y la intersección entre  $q$  y  $p$  indica el punto de equilibrio.

**Grafico 5.** Estrategias de equilibrio en el juego de aplicación.



La probabilidad de infracciones de velocidad.

**Nota.** Realizado por el autor.

En donde se aprecia que cualquier movimiento que se aleje del punto de equilibrio se autocorregirá y habrá un contra movimiento hacia el equilibrio. Esto se indica con las flechas en las diferentes áreas del diagrama. Por ejemplo, si la probabilidad de aplicación es superior a  $q$  y la probabilidad de infracciones de velocidad es inferior a  $p$ , es decir, que se sitúa en el área superior izquierda del diagrama, en donde habrá una tendencia hacia una aplicación reducida y, por lo tanto, un mayor nivel de infracciones de velocidad.

En el área superior derecha, donde la aplicación está por encima de  $q$  y las infracciones están por encima de  $p$ , habrá un movimiento hacia un nivel reducido de infracción de velocidad y, en consecuencia, un nivel reducido de aplicación.

En el área inferior izquierda, donde la aplicación está por debajo de  $q$  y las infracciones de velocidad están por debajo de  $p$ , habrá una tendencia hacia una mayor infracción y, por lo tanto, una mayor aplicación.

En el área inferior derecha, el nivel de infracción de velocidad está por encima de  $p$  y el nivel de control está por debajo de  $q$ . Aquí, habrá una tendencia hacia una mayor aplicación y, en consecuencia, un nivel reducido de infracción de velocidad.

### 4.3 Un ejemplo con pagos en valores monetarios

Para ilustrar los beneficios para el ejecutor y los conductores, se utiliza los valores monetarios por multas de tránsito.

#### Valor de las multas de tránsito en Ecuador

A continuación, expondremos el valor actual de las infracciones de tránsito más cometidas por exceso de velocidad en el país:

**Urbana**

- Vehículos livianos de 50 a 60 Km/h
- Transporte público de 40 a 50 Km/h
- Transporte de carga de 40 a 50 Km/h

**Perimetral**

- Vehículos livianos de 90 a 120 Km/h
- Transporte público de 70 a 100 Km/h
- Transporte de carga de 70 a 95 Km/h

**Carretera (recta)**

- Vehículos livianos de 100 a 135 Km/h
- Transporte público de 90 a 115 Km/h
- Transporte de carga de 70 a 100 Km/h

**Carretera (curva)**

- Vehículos livianos de 60 a 75 Km/h
- Transporte público de 50 a 65 Km/h
- Transporte de carga de 40 a 60 Km/h

**Multas por exceder estos límites de velocidad**

- Reducción de 6 puntos de la licencia de conducir
- Multa del 30% de un SBU (Salario Básico Unificado)

**Nota.** Realizado por el autor y extraído de la Agencia Nacional de Transito (2023).

Suponemos en este ejemplo numérico que el costo de un control policial es de \$1000. Asumimos además que un control policial en promedio ahorra costos de accidentes públicos por \$5000. Asumimos que los conductores de automóviles deben pagar una multa de \$135, si son sorprendidos violando el límite de velocidad, y si no los detectan, asumimos que el tiempo ahorrado en promedio asciende a \$50. Si los conductores optan por observar el límite de velocidad, asumimos una pérdida de tiempo equivalente a \$50. Por lo tanto, los conductores de automóviles obtendrán un total de \$100 por violar el límite de velocidad, si no los detecta la policía. Estos pagos dan el modelo que se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** El juego de Ejecución con pagos numéricos.

		<b>EJECUTOR</b>	
		Hacer cumplir	No hacer cumplir
<b>CONDUCTORES</b>	Violar el límite de velocidad	-135	50
	No violar el límite de velocidad	-50	0

**Nota.** Realizado por el autor.

El pago al ejecutor se indica con el número en la esquina superior derecha de cada celda, el pago a los conductores se indica con el número inferior izquierdo de cada celda. Al sustituir los pagos relevantes en las ecuaciones, la estrategia de equilibrio para el ejecutor se calcula mediante el uso de la ecuación 4:

$$q = [50 - (-50)]/[50 - (-50) + (-50) - (-135)]$$

$$q = \frac{100}{185} = 0.5405$$

Si el ejecutor hace cumplir con una probabilidad de 0.5405, la utilidad esperada para los conductores de automóviles de violar versus observar el límite de velocidad es igual. El valor V para los conductores de automóviles se calcula mediante el uso de la ecuación 5:

$$V = \frac{[(50) * (-50) - (-135) * (-50)]}{185};$$

$$V = \frac{[-2500 - 6750]}{185} = -\frac{9250}{185} = -50$$

El valor máximo para los conductores de automóviles también se puede calcular sustituyendo 0,5405 por  $q$  y 0,4595 por  $1 - q$  en las ecuaciones (1) y (2) respectivamente:

$$EU(\text{violar}) = 0.5405 * (-135) + 0.4595 * 50 = -50$$

$$EU(\text{observar}) = 0.5405 * (-50) + 0.4595 * (-50) = -50$$

La estrategia de equilibrio de los conductores de automóviles también se puede calcular mediante el uso de la ecuación 9:

$$p = (0 - (-1000))/(-1000 - (-5000) + 0 - (-1000))$$

$$p = \frac{1000}{5000} = 0,2$$

La estrategia de equilibrio de los conductores de automóviles es violar con una probabilidad de 0,2 y observar con una probabilidad de 0,2. Como se mencionó anteriormente, puede parecer extraño hablar de una estrategia de equilibrio para los conductores de automóviles en general. Podemos expresar esto de manera un tanto diferente: si el 50% de los conductores de automóviles respetan el límite de velocidad y el 20% lo violan, la utilidad esperada de hacerlo cumplir es igual a la utilidad esperada de no hacerlo cumplir:

$$EU(\text{hacer cumplir}) = 0.5 * (-1000) + 0.5 * (-1000)$$

$$= -1000$$

$$EU(\text{No hacer cumplir}) = 0.2 * (-5000) + 0.2 * 0$$

$$= -1000$$

### 4.3.1 Implicaciones del modelo

Este modelo tiene algunas implicaciones muy importantes con respecto a la posibilidad de influir en el comportamiento de los usuarios de la vía mediante el aumento de la aplicación de la ley, el aumento de las sanciones o ambas cosas.

Cualquier intento de hacer cumplir la legislación sobre tráfico rodado será, en el mejor de los casos, poco entusiasta.

Esta implicación se deriva de los supuestos A1-A4 y la estrategia de equilibrio del ejecutor. Si el ejecutor hace cumplir más de lo que prescribe la estrategia de equilibrio, más conductores observarán el límite de velocidad y, por lo tanto, de acuerdo con el supuesto A4, a su vez se reducirá el nivel de cumplimiento. Esto también se desprende del modelo, en el sentido de que la utilidad esperada de aplicar más o menos que la estrategia de equilibrio será menor que la utilidad esperada de usar la estrategia de equilibrio.

Si el ejecutor hace cumplir con una probabilidad de 0.3, esto cambiará la utilidad esperada para los conductores de automóviles de violar frente a observar:

$$EU(\text{violar}) = 0,3 \times (-135) + 0,6 \times 50 = -10,5$$

$$EU(\text{observar}) = 0,3 \times (-20) + 0,6 \times (-20) = -18.$$

Esto reducirá gradualmente el número de conductores que cometen infracciones y, por lo tanto, generará rendimientos decrecientes para el ejecutor. Cuando la proporción de conductores que incumplen se reduce de 0,1 a 0,2, la utilidad esperada de hacer cumplir no cambia, pero la utilidad esperada de no hacer cumplir aumenta de -1000 US a -900 US, es decir, no hacer cumplir se ha convertido en la mejor estrategia, y será cada vez mejor, cuanto más respeten los conductores el límite de velocidad. Cuando todos los conductores de automóviles observan, la utilidad esperada para el ejecutor es  $(-1000 \times 0,3) = -300$  de cumplimiento y  $(0 \times 0,6) = 0$  de no cumplimiento. Con base en esta línea de argumentación, es razonable esperar que el ejecutor reduzca el nivel de cumplimiento, cuanto menos infrinjan la ley los conductores. Dada esta consecuencia, se deduce que no se puede obtener una reducción duradera en el número de accidentes por medio de la aplicación policial tradicional.

### 4.3.2 Imponer sanciones más estrictas no afectará el comportamiento de los usuarios de la vía

Como ha demostrado Tsebelis (1989), del modelo se deduce directamente que cambiar el tamaño de las sanciones no afectará el comportamiento de los usuarios de la vía. El tamaño de la sanción solo afecta la estrategia de equilibrio del ejecutor y no la estrategia de equilibrio de los conductores. La estrategia de equilibrio de los impulsores se calculó a partir de la ecuación (4), y son solo los pagos para el ejecutor los que influyen en la estrategia de equilibrio de los impulsores. Del mismo modo, son sólo los

pagos de las diferentes alternativas a los conductores los que se utilizan para calcular la estrategia de equilibrio de las autoridades. Esto se ve fácilmente; solo los números con el subíndice 2 en la Tabla 2 se incluyen en el cálculo de la estrategia de equilibrio de los conductores de automóviles, y solo los números con el subíndice 1 se incluyen en el cálculo de la estrategia de equilibrio del ejecutor.

Este resultado es quizás sorprendente y un ejemplo numérico podría ser útil. Supongamos que la multa por violar el límite de velocidad aumenta de 135 (USD) a 300 (USD). Esto da los pagos que se muestran en la Tabla 4. Ahora podemos calcular la estrategia de equilibrio para el ejecutor mediante el uso de la ecuación (4) y para los impulsores mediante el uso de la ecuación 9.

**Tabla 4.** El juego de la aplicación con pagos revisados

		<b>EJECUTOR</b>	
		Hacer cumplir	No hacer cumplir
<b>CONDUCTORES</b>	Violar el límite de velocidad	-1000 -300	-5000 50
	No violar el límite de velocidad	-1000 -50	0 -50

**Nota.** Realizado por el autor.

Para el ejecutor:

$$q = 50 - (-50)/50 - (-50) + (-50) - (-300)$$

$$q = \frac{100}{350} = 0,2857$$

Para los conductores de automóviles:

$$p = (0 - (-1000))/(-1000) - (-5000) + 0 - (-1000)$$

$$p = \frac{1000}{5000} = 0,2$$

Un aumento en la multa por exceso de velocidad solo influye en la estrategia de equilibrio del ejecutor, y no en la estrategia de equilibrio de los conductores. Si la multa se incrementa de 135 (USD) a 300 (USD), el ejecutor debe reducir la probabilidad de ejecución de 0,2 a 0,2857 para maximizar la utilidad esperada.

Si las autoridades mantienen la aplicación en el nivel anterior, más y más conductores dejarán de infringir porque la utilidad esperada de infringir ahora será  $(-1000 \times 0,5405) + (50 \times 0,4595) = -517$ . La utilidad esperada de observar el límite de velocidad será como antes  $-50$ . Según nuestra suposición, la aplicación policial tradicional no se mantendrá en ese nivel.

#### 4.4 Discusión

La teoría de juegos y su aplicación al comportamiento de los usuarios de la carretera, parte del análisis de las decisiones estratégicas en un entorno interactivo en donde, sus acciones pueden incidir en el resultado tanto para ellos mismos como para otros participantes. Para lo cual, autores como Schoettler (2015) abordan el hecho de que, en su afán por llegar a tiempo a un lugar los conductores adoptan en sus estrategias de conducción, circular a alta velocidad aumentando así el riesgo de ocasionar un siniestro de tránsito. Esto debido a que, según Sheikh et al. (2021) varios conductores, eligen un comportamiento agresivo al volante en su ambición de obtener el mejor beneficio posible.

Ante comportamientos agresivos al volante Elvik (2014) contempla en su investigación que la presencia policial como órgano reductor, disminuye significativamente la conducción a altas velocidades. Debido a la implementación de infracción y sanciones altas. Los principales hallazgos de estos estudios estimaron los efectos tanto en las tasas de infracciones como en las tasas de accidentes. Siendo esta la mejor alternativa posible para disuadir los comportamientos peligrosos en la carretera. Lo cual coincide con los resultados de esta investigación.

De la misma manera estudios de Roop y Brackett (1980), Høye y Elvik (2019) y Elvik (2014) se refieren a la aplicación de sanciones más severas en función de la velocidad. Los estudios de Amick y Marshall (1983) se refieren a la aplicación de DUI (Aplicación bajo la influencia). Los estudios restantes se refieren a la aplicación general, donde la aplicación de la velocidad fue un ingrediente importante para brindar soluciones en el caso de incumplimiento de los límites de velocidad.

Para el estudio de Amick y Marshall (1983), se ha realizado una estimación simplificada del cambio en la tasa de infracción debido a un aumento de la presencia policial en las carreteras. Por lo tanto, si, se detecta 10.000 infracciones anualmente en el nivel inicial de aplicación y la presencia policial, la aplicación aumenta en un factor de cuatro, esperaríamos que se detectaran 40.000 infracciones, si el aumento de la aplicación no afectara la tasa de infracciones. y si la efectividad de las unidades de aplicación para detectar violaciones no cambió. Si, en el caso de detectar 25.000 infracciones, estimamos que la tasa de infracciones se ha reducido a  $25.000/40.000$ , el 62,5 % de su nivel anterior. Esto corresponde a una disminución del 37,5 % en la tasa de infracciones. Tal estimación es muy cruda, pero es de esperar que indique el orden de magnitud del cambio en la tasa de violaciones.

Este punto está claramente ilustrado por las experiencias adquiridas en los dos experimentos daneses. En el primer experimento Roop y Brackett (1980) la aplicación se incrementó en un factor de aproximadamente tres. No se pudieron detectar efectos en las tasas de infracciones ni en las tasas de accidentes. Las entrevistas con los usuarios de la carretera confirmaron que pocos habían notado el aumento en el nivel de aplicación. En un experimento posterior Høye y Elvik (2019), la aplicación se incrementó en un



factor de cinco. Esta vez, los usuarios de la carretera sí notaron el cambio. También hubo una caída en las tasas de infracciones, especialmente en la tasa de infracciones de velocidad.

Un estudio finlandés detectó un efecto sobre el nivel de velocidad de un coche de policía marcado y estacionado hasta 1,9 km del coche (Summala,1985). Un estudio canadiense Kim y Kim (1997) concluyó que el efecto de un coche de policía uniformado estacionado sobre el nivel de velocidad se reducía a la mitad cada 0,9 km que los coches que pasaban se retiraban del coche de policía. No se pudo detectar ningún efecto sobre el nivel de velocidad más allá de unos 2,4 km del coche de policía. El efecto de un período de aplicación duró unos tres días. La aplicación repetida extendió esto a unos seis días. La aplicación repetida no pareció afectar más a los conductores que pasaban por el sitio diariamente que a los que pasaban por el sitio ocasionalmente.

Los supuestos sobre las prioridades de la policía no están bien documentados, pero los hallazgos apuntan en la dirección esperada. Dado el apoyo a los supuestos A1 a A4, se concluye que el uso de un modelo de teoría de juegos brinda una mejor comprensión de la relación entre el comportamiento de los usuarios de la carretera y la aplicación de la policía que la teoría ordinaria de la elección racional (paramétrica). Es así que esto también muestra la importancia del desarrollo y la aplicación de la teoría en la investigación de la seguridad vial. Las teorías de la adaptación del comportamiento han supuesto un gran paso adelante en la investigación de la seguridad vial. Se cree que la teoría de juegos podría considerarse como una elaboración de la línea de pensamiento que se inicia en las teorías de adaptación conductual y que la aplicación de la teoría de juegos podría llevar aún más lejos la investigación en seguridad vial.

Aunque en el ejemplo, el enfoque de teoría de juegos puede dar una impresión pesimista de la posibilidad de reducir los accidentes viales mediante la aplicación de la ley, es necesario enfatizar que, según el modelo, las infracciones y los accidentes viales pueden reducirse permanentemente si no se hace cumplir la ley, reducido una vez que tiene éxito. La forma más obvia de mantener el nivel de control a un nivel suficientemente alto para disuadir a los conductores es mediante la vigilancia automática del tráfico. La experiencia acumulada hasta el momento muestra que la vigilancia automática tiene un gran potencial para mejorar la seguridad vial. Hay, sin embargo, al menos dos problemas relacionados con ello. Primero, el uso de la vigilancia automática puede ser una medida bastante impopular y, por lo tanto, difícil de implementar.

## CAPÍTULO V

### 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Debido a que los usuarios de la carretera tienden a cumplir con la ley si se observa a la policía, y a violar si no hay policía alrededor. Hay buenas razones para reducir la aplicación cuando los usuarios de la carretera cumplen con la ley, y viceversa. Dado el apoyo a las suposiciones de A1 a A4, llegaremos a la conclusión de que los usuarios de la carretera son actores estratégicos que aprovechan cualquier medida disponible para alcanzar su objetivo que no siempre es maximizar la seguridad vial y que un aumento en las multas o sanción de tránsito no garantiza la reducción de su cometimiento. Aunque en nuestro ejemplo, el enfoque teórico del juego puede dar una impresión pesimista de la posibilidad de reducir los accidentes de tráfico por medio de la aplicación, es preciso hacer hincapié en que, de acuerdo al modelo aplicado, las violaciones y los accidentes de tráfico se pueden reducir de forma permanente si la aplicación no se reduce una vez que tiene éxito. La forma más obvia de mantener el nivel de aplicación en un nivel suficientemente alto como para disuadir a los conductores es mediante la vigilancia en áreas de mayor peligro.
- Dentro de la teoría de juegos, se distinguen dos tipos principales de juegos: estáticos y dinámicos. Los juegos estáticos son aquellos en donde los jugadores cuentan con información perfecta y eligen sus decisiones de manera simultáneas, y los equilibrios más comunes son el equilibrio de Nash, en el que ninguna parte tiene incentivos para cambiar su estrategia, y el equilibrio de Pareto, en el que no se puede mejorar el resultado de un jugador sin empeorar el resultado de otro. Mientras que los juegos dinámicos, los jugadores toman acciones en momentos diferentes y teniendo en cuenta la información disponible en cada etapa. El equilibrio de sub-juego. Al analizar el juego interactivo (policía y conductor) y su representación matricial y no tener ninguna combinación de estrategias con el mejor resultado, es decir un resultado de equilibrio. Es preciso obtener el mejor resultado mediante las estrategias mixtas por probabilidades. Lo que permite obtener una función de equilibrio entre los jugadores, permitiendo que los conductores no alcancen un valor por encima del valor denominado seguridad vial.
- La teoría paramétrica de la elección racional proporciona un marco para analizar las situaciones convencionales de los usuarios de las carreteras. En este enfoque, los conductores toman decisiones racionales al maximizar su utilidad esperada. Algunas de estas situaciones incluyen la elección de ruta, donde los conductores evalúan factores como la distancia y el tiempo de viaje para seleccionar la ruta más conveniente. También se considera la elección de velocidad, donde los conductores equilibran la necesidad de llegar rápidamente a su destino con consideraciones de seguridad. Mediante la aplicación de la teoría paramétrica de la elección racional, es posible comprender y predecir el comportamiento de los

usuarios de las carreteras, lo que puede contribuir al diseño de políticas y estrategias más efectivas en materia de tráfico y seguridad vial, conociendo que si el conductor paga una multa podrá mejorar su conducta en la carretera. Además, la teoría paramétrica de la elección racional permite analizar las acciones de los usuarios de la vía desde una perspectiva de toma de decisiones racionales. Según esta teoría, los usuarios de la vía seleccionan las acciones que maximizan su utilidad o beneficio esperado. Por ejemplo, los conductores eligen su velocidad y distancia de seguimiento considerando el equilibrio entre llegar rápidamente a su destino y mantener una distancia segura. Asimismo, los peatones pueden decidir cruzar la calle en función de la evaluación de factores como el flujo de tráfico y el tiempo de espera. Al comprender las acciones de los usuarios de la vía desde la teoría paramétrica de la elección racional, es posible analizar los incentivos y las preferencias que influyen en su comportamiento, lo que puede ser útil para diseñar políticas y medidas que promuevan un uso seguro y eficiente de las vías de transporte.

## 5.2 Recomendaciones

- En general, se recomienda realizar un análisis exhaustivo de los diferentes tipos de juegos y sus equilibrios, considerando tanto las situaciones convencionales como las estrategias posibles de los jugadores. También es importante tener en cuenta las características específicas de cada juego, como el número de jugadores, las reglas del juego y las posibles interacciones estratégicas. Además, se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos en los análisis de juegos pueden ser sensibles a los supuestos y las restricciones utilizadas en el modelo. Por lo tanto, es fundamental evaluar la aplicabilidad y la validez de los resultados en el contexto particular en el que se aplica la teoría de juegos.
- Cuando se presentan las situaciones convencionales de los usuarios de las carreteras basadas en la teoría paramétrica de la elección racional, es importante tener en cuenta algunas recomendaciones. En primer lugar, se sugiere recopilar datos relevantes sobre el comportamiento de los usuarios de las carreteras, como preferencias de los conductores, patrones de tráfico y condiciones de la vía. Estos datos pueden proporcionar información clave para comprender las decisiones y acciones de los usuarios de las carreteras desde una perspectiva racional. Además, se recomienda utilizar modelos y técnicas adecuadas para analizar los datos recopilados, y la aplicación de juegos evolutivos, ya que los jugadores están en constante aprendizaje y cambian sus estrategias, lo cual es interesante analizar en un contexto dinámico. Por otro lado, se puede incluir el uso de modelos de elección discreta, como el modelo logit, para evaluar las preferencias de los usuarios y predecir sus decisiones en diferentes situaciones de tráfico. También se pueden emplear técnicas de análisis multivariado y regresión para identificar las variables que influyen en las decisiones de los usuarios y cuantificar su impacto.

- Al considerar las acciones de los usuarios de la vía desde la perspectiva de la teoría paramétrica de la elección racional, se pueden proporcionar algunas recomendaciones útiles. En primer lugar, es importante comprender los incentivos y las preferencias que influyen en las decisiones de los usuarios. Para ello, se recomienda realizar investigaciones y recopilar datos sobre las motivaciones y los factores que afectan las decisiones de los usuarios de la vía. Además, se sugiere evaluar los costos y beneficios asociados con las diferentes acciones disponibles para los usuarios de la vía. Esto implica analizar los riesgos, los tiempos de viaje, los costos monetarios y otros factores relevantes para evaluar la utilidad o el beneficio esperado de cada acción. También es importante considerar las interacciones y el contexto en el que se toman las decisiones. Los usuarios de la vía pueden verse influenciados por el comportamiento de otros usuarios y las condiciones del entorno, como el tráfico, la infraestructura vial y las señales de tránsito. Por lo tanto, se recomienda tomar en cuenta estos factores al analizar las acciones de los usuarios y las posibles respuestas a cambios en el entorno vial. En términos de intervenciones y políticas, se sugiere diseñar incentivos y medidas que alineen los intereses de los usuarios con los objetivos de seguridad vial y eficiencia en el transporte. Esto puede incluir la implementación de campañas de concientización, la mejora de la infraestructura vial, la aplicación de regulaciones efectivas y el fomento de comportamientos seguros a través de incentivos positivos.

## 6 REFERENCIAS

- Abell, P. (2000). Sociological theory and rational choice theory. *The blackwell companion to social theory*, 2, 223-244.
- Adler, N., Brudner, A., & Proost, S. (2021). A review of transport market modeling using game-theoretic principles. *European Journal of Operational Research*, 291(3), 808-829.
- Amick, D. R., & Marshall, P. B. (1983). *Evaluation of the Bonneville County, Idaho, DUI accident prevention program*.
- Amster, P., & Pinasco, J. P. (2015). *Teoría de juegos: Una introducción matemática a la toma de decisiones*. Fondo de Cultura Económica.  
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=xVe3DAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA7&dq=la+teor%C3%ADa+de+juegos+emplea+a+la+matem%C3%A1tica&ots=qnGJZSwa5z&sig=2iUt7bmyffncaPLpYepB85T3Fuk>
- ANT. (2023). *Visor de siniestralidad – Estadísticas – Agencia Nacional de Tránsito del Ecuador – ANT*. <https://www.ant.gob.ec/visor-de-siniestralidad-estadisticas/>
- Binmore, K. (1994). *Teoría de juegos*. McGraw-Hill Madrid.
- Binmore, K. (2005). Economic man—or straw man? *Behavioral and Brain Sciences*, 28(6), 817-818.
- Binmore, K. (2007). *Playing for real: A text on game theory*. Oxford university press.  
[https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=h5QRDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=binmore++game+theory&ots=RzmJ75aeYL&sig=EVP\\_PxlyjJ50GeNduRTx5Q0slgk](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=h5QRDAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR11&dq=binmore++game+theory&ots=RzmJ75aeYL&sig=EVP_PxlyjJ50GeNduRTx5Q0slgk)
- Bjørnshau, T. (2017). The Zebra Crossing Game—Using game theory to explain a discrepancy between road user behaviour and traffic rules. *Safety science*, 92, 298-301.
- Cáceres, E. B. (2019). *Movilidad urbana en Quito: Análisis del funcionamiento del transporte público desde una perspectiva de la interacción cotidiana y la Sociología de las emociones* [B.S. thesis]. PUCE-Quito.
- Cachalvite, G. (2022). *Teoría de juegos*. Obtenido del Repositorio de la Universidad de Valladolid Web site: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/56546>
- Cachon, G. P., & Netessine, S. (2006). Game theory in supply chain analysis. *Models, methods, and applications for innovative decision making*, 200-233.
- Cerdá, E., Jimeno, J. L., & Pérez, J. (2004). *Teoría de juegos* (Vol. 53). Pearson Educación Madrid, Spain.  
<https://www.academia.edu/download/52517410/33040062.pdf>
- Diekmann, A. (2022). Rational choice sociology: Heuristic potential, applications, and limitations. En *Handbook of Sociological Science* (pp. 100-119). Edward Elgar Publishing.
- Dieterlen, P. (1987). Teoría de la elección racional, un ejemplo del individualismo metodológico. *Estudios*, 11, 27-40.
- Dietsche, K.-H. (2005). *Manual de la técnica del automóvil*. Reverte.
- Duwison, D. (2017). *Teoría de juegos. Juegos de suma cero*.  
<https://idus.us.es/handle/11441/66387>

- Elvik, R. (2014). A review of game-theoretic models of road user behaviour. *Accident Analysis & Prevention*, 62, 388-396. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2013.06.016>
- EOS Gallup Europe. (2003). Aggressive behaviour behind the wheel. *Wavre, Belgium: Author.*
- Felix, B., Kluppels, L., Meulemans, C., Vandenreijt, B., & Wiseur, A. (2000). An educational programme for aggressive drivers. *Aggressive Driving Issues Conference, October, 16.*
- Frakt, A. (2019, febrero 7). Atascado y estresado: Cómo afecta el tráfico a tu salud. *The New York Times*.  
<https://www.nytimes.com/es/2019/02/07/espanol/consecuencias-traffic-salud.html>
- Ganjali, N., & Guney, C. (2017). GIS and game theory for water resource management. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4, 215-220.
- Gold, N., & Colman, A. M. (2020). Team reasoning and the rational choice of payoff-dominant outcomes in games. *Topoi*, 39(2), 305-316.
- González, L. M. (2011). La educación vial y el comportamiento de los conductores. *Securitas Vialis*, 3(1), 1-2.
- González, N., & Solano, J. A. (2004). *Apuntes de teoría de juegos*.  
[https://www.icesi.edu.co/departamentos/images/departamentos/FCAE/economia/apuntesEconomia/apuntes\\_de\\_teor%C3%ADa\\_de\\_juegos.pdf](https://www.icesi.edu.co/departamentos/images/departamentos/FCAE/economia/apuntesEconomia/apuntes_de_teor%C3%ADa_de_juegos.pdf)
- Hamburger, H. (1979). *Games as models of social phenomena*.
- Herreros, F. (2008). *Confianza, elección racional y teoría de juegos*.
- Høyve, A. K., & Elvik, R. (2019). Trafikksikkerhetsåndboken: Bakgrunn om. *Clinical Epidemiology*, 64(4), 401-406.
- Huanca, P. D. (2021). *Eficacia de la implementación de geocercas en el tramo de la carretera desde la cantera-Tajo G3 hasta la planta-Pet Coke, para la reducción de accidentes en el transporte interno de caliza en la empresa minera no metálica Cal y Cemento Sur SA.*
- Ibarra. (2019). *El exceso de velocidad asociado a los accidentes de tránsito en conductores de David, Chiriquí*.  
<http://repositorio2.udelas.ac.pa/handle/123456789/298>
- Iversen, H. (2004). Risk-taking attitudes and risky driving behaviour. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 7(3), 135-150.
- Jain, A., Koppula, H. S., Raghavan, B., Soh, S., & Saxena, A. (2015). Car that knows before you do: Anticipating maneuvers via learning temporal driving models. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 3182-3190.
- James, L. (2000). *Bicycling—Sharing the Road*.  
<https://drdriving.org/pedestrians/bicycling.htm>
- Kim, D.-H., & Kim, D. H. (1997). A system dynamics model for a mixed-strategy game between police and driver. *System Dynamics Review*, 13(1), 33-52.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1727\(199721\)13:1<33::AID-SDR114>3.0.CO;2-Y](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1727(199721)13:1<33::AID-SDR114>3.0.CO;2-Y)

- Kontogiannis, T., Kossiavelou, Z., & Marmaras, N. (2002). Self-reports of aberrant behaviour on the roads: Errors and violations in a sample of Greek drivers. *Accident Analysis & Prevention*, 34(3), 381-399.
- Levy, N., Klein, I., & Ben-Elia, E. (2018). Emergence of cooperation and a fair system optimum in road networks: A game-theoretic and agent-based modelling approach. *Research in Transportation Economics*, 68, 46-55.
- Lv, C., Liu, Y., Hu, X., Guo, H., Cao, D., & Wang, F.-Y. (2017). Simultaneous observation of hybrid states for cyber-physical systems: A case study of electric vehicle powertrain. *IEEE Transactions on Cybernetics*, 48(8), 2357-2367.
- Madani, K. (2010). Game theory and water resources. *Journal of hydrology*, 381(3-4), 225-238.
- Martínez, R. (2004). El puesto de la racionalidad en las ciencias sociales desde la perspectiva de Jon Elster. *A Parte Rei*, 31, 1-18.
- Maschler, M., Zamir, S., & Solan, E. (2020). *Game theory*. Cambridge University Press. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=o6UIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR14&dq=GAME+THEORY&ots=HkGWHsMpmk&sig=5uxmT5z1DOXljsaS0iZwzM3\\_Rkw](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=o6UIEAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR14&dq=GAME+THEORY&ots=HkGWHsMpmk&sig=5uxmT5z1DOXljsaS0iZwzM3_Rkw)
- Matus, C. (2021). *Teoría del juego social*. Universidad Nacional de Lanús.
- McCain, R. A. (2023). Conflict, Strategy, and Games. En *Game Theory* (4.<sup>a</sup> ed., pp. 3-21). WORLD SCIENTIFIC. [https://doi.org/10.1142/9789811262968\\_0001](https://doi.org/10.1142/9789811262968_0001)
- McNALLY, I. M., & STONE, M. (2001). Cross-Cultural Models of Road Traffic Accident Risk: Personality. *Behavioural, Cognitive and Demographic Predictors [http://www.geocities.com/imc24837209/results.html am 13.05.2004]*.
- Mendoza, R. C., & Rodríguez, R. R. (2020). *Sistema de indicadores estadísticos para la medición del comportamiento de los turistas en destinos. Caso de estudio Provincia Manabí* [B.S. thesis]. Calceta: ESPAM MFL.
- Moreno, M. B. (2019). *Estrategias institucionales para la mejora de la seguridad vial en Ecuador y Chile, caso de análisis de los pilares 3 y 4 del Decenio de Acción* [Master's Thesis]. Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.
- Mozo Sánchez, J. (2012). Análisis de Capacidad y Nivel de Servicio de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad. *Capítulo, 3*, 41-48.
- Muñoz, N. (2016). *Teoría de Juegos: Juegos de señalización*. <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/21959>
- Näätänen, R., & Summala, H. (1976). Road-user behaviour and traffic accidents. *Publication of: North-Holland Publishing Company*.
- Nash, J. (2002). *The Essential John Nash* (S. Nasar, Ed.). Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400884087>
- NHTSA. (2021). *Exceso de Velocidad* | NHTSA Web site: <https://www.nhtsa.gov/es/conducir-de-forma-riesgosa/exceso-de-velocidad>
- OMS. (2020). *Traumatismos causados por el tránsito*. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries>

- Ontanón, S., Lee, Y.-C., Snodgrass, S., Winston, F. K., & Gonzalez, A. J. (2017). Learning to predict driver behavior from observation. *2017 AAAI Spring Symposium Series*.
- Ortiz, B. L. (2012). Teoría de Juegos. *Facultad de Economía, UNAM*.  
<http://132.247.70.26/profesores/blopez/juegos-presentaciones.pdf>
- Óskarsson, P. J. (2010). *Democracy and the internet. The theoretical foundations and practical applications* [PhD Thesis]. <https://skemman.is/handle/1946/5394>
- Oskarsson, P.-A. (1999). Driving with Automation: The Association Between Subjective Opinions of Automated in-Vehicle Systems and Quantitative Measures of Driving Performance. *VTI MEDDELANDE, 870A*.
- Owen, G. (2013). *Game theory*. Emerald Group Publishing.
- Pérez, J., Jimeno, J. L., & Cerdá, E. (2004). *Teoría de juegos*. Pearson education.
- Pérez, M. Á. (2003). *Diseño de una carretera versus el comportamiento de los conductores. Adelantamiento, velocidad y distancia de visibilidad*.
- Piercy, N. F. (2016). *Market-led strategic change: Transforming the process of going to market*. Taylor & Francis.
- Plá, F. M., Martínez, C., Calatayud, C., Medina, J. E., & Alamar, B. (2005). *La justicia en el tráfico: Análisis del ciclo legislativo-ejecutivo a nivel internacional*.
- Reyes Prudente, L. P., & Soledispa Clavijo, D. A. (2023). *Estudio comparado de las sanciones establecidas en contravenciones de tránsito por exceso de velocidad en Ecuador, Chile y Argentina, 2022*. [B.S. thesis, La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2023].  
<https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9282>
- Roop, S. S., & Brackett, R. Q. (1980). Evaluation of project increased traffic law enforcement. *Final report. College Station, TX: Texas Transportation Institute*.
- Rosas, C.-D., Gaviria, C.-A., & Calero, C.-A. (2021). Clasificación de comportamiento de conductores en curvas horizontales de carreteras rurales de dos carriles. *Revista Facultad de Ingeniería, 30(57)*, e13410-e13410.
- Rubinstein, A., Kuhn, H. W., Morgenstern, O., & Von Neumann, J. (2007). *Theory of Games and Economic Behavior: 60th Anniversary Commemorative Edition*. Princeton university press.
- Rudin-Brown, C. M., & Parker, H. A. (2004). Behavioural adaptation to adaptive cruise control (ACC): Implications for preventive strategies. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 7(2)*, 59-76.
- Sánchez González, M. P., Escribano Sotos, F., Tejada Ponce, Á., Sánchez González, M. P., Escribano Sotos, F., & Tejada Ponce, Á. (2019). Análisis de los factores determinantes del ahorro de costes en accidentes de tráfico en la red de carreteras de España. *Revista Española de Salud Pública, 93*.  
[https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S1135-57272019000100030&lng=es&nrm=iso&tlng=es](https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1135-57272019000100030&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Sánchez, I. (2009). *Teoría de juegos* (Vol. 34). CIS.
- Schelling, T. C. (2010). Game theory: A practitioner's approach. *Economics & Philosophy, 26(1)*, 27-46.



- Schoettler, R. (2015). Aplicación de teoría de juegos en la analogía entre mercados y tráfico automotriz. *Empresarial*, 9(36), 17-23.
- Sheikh, M. S., Wang, J., & Regan, A. (2021). A game theory-based controller approach for identifying incidents caused by aberrant lane changing behavior. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 580, 126162. <https://doi.org/10.1016/j.physa.2021.126162>
- Sieira, Z. (2019). *Juegos repetidos: Cooperación*. Obtenido de la Editorial de la Universidad de Valladolid Web site: <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/40347>
- Siggelkow, B. F., Trockel, J., & Dieterle, O. (2018). An inspection game of internal audit and the influence of whistle-blowing. *Journal of Business Economics*, 88(7-8), 883-914. <https://doi.org/10.1007/s11573-018-0893-9>
- SPPAT. (2023). *Consecuencias del exceso de velocidad – Servicio Público para Pago de Accidentes de Tránsito*. <https://www.sppat.gob.ec/servicios/?p=338>
- Summala, H. (1985). *Modeling driver behavior: A pessimistic prediction*. Springer.
- Tsebelis, G. (1989). The abuse of probability in political analysis: The Robinson Crusoe fallacy. *American Political Science Review*, 83(1), 77-91.
- Vera, V., Larrea, J., Caballero, M., & Delgado, D. (2022). Efectos del COVID-19 sobre los accidentes de tránsito en la provincia de Manabí. *Investigación y Desarrollo*, 15(1), Article 1. <https://doi.org/10.31243/id.v15.2022.1590>
- Vitoriano, B. (2007). Teoría de la decisión: Decisión con incertidumbre, decisión multicriterio y teoría de juegos. *Universidad Complutense de Madrid*, 107. [https://www.academia.edu/download/49172976/teoria\\_de\\_la\\_desicion.pdf](https://www.academia.edu/download/49172976/teoria_de_la_desicion.pdf)
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (2007). *Theory of Games and Economic Behavior (60th Anniversary Commemorative Edition)*: Princeton University Press. <https://doi.org/10.1515/9781400829460>
- Wang, F.-Y. (2017). Computational social systems in a new period: A fast transition into the third axial age. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 4(3), 52-53.
- Wei, J., Govindan, K., Li, Y., & Zhao, J. (2015). Pricing and collecting decisions in a closed-loop supply chain with symmetric and asymmetric information. *Computers & operations research*, 54, 257-265.
- Wilde, G. J., Robertson, L. S., & Pless, I. B. (2002). For and against Does risk homeostasis theory have implications for road safety For Against. *Bmj*, 324(7346), 1149-1152.