

Omnia Año 24, No. 1 (enero-abril, 2018) pp. 147 - 163
Universidad del Zulia. ISSN: 1315-8856
Depósito legal pp 199502ZU2628

Análisis y consideraciones técnicas en teoría de juegos y condición de equilibrio

Prudencia Medina Monterrosa*, **León Arango ****
Elida Alzamora Taborda***

Resumen

La teoría de juegos es una herramienta que permite examinar el comportamiento estratégico de los participantes, a partir de sus tres características básicas: Reglas, Estrategias y recompensas o resultados, los integrantes del juego actúan precisamente motivados por la maximización de sus utilidades, y supone que los adversarios son racionales, se toma en cuenta el comportamiento esperado del otro, se considera el reconocimiento mutuo de la interdependencia. Su aplicación en el mundo real se manifiesta en situaciones en las que, al igual que en los juegos, el resultado de una acción depende de la decisión o conjunto de decisiones que cada participante toma en el transcurso de un determinado lapso. El objetivo del presente ensayo es analizar el enfoque del estándar mínimo seguro como principios operativos que soporta algunas decisiones institucionales y estatales relacionadas con el desarrollo sostenible a través del modelo del dilema del prisionero y el modelo Halcón o Paloma de la teoría de juegos, estableciendo en ambos casos la condición de equilibrio de John Nash desarrollado en la misma teoría, realizando un análisis económico en cuanto a la incertidumbre que involucra la destrucción irreversible de recursos ambientales no cuantificables en el presente pero si se evidencian su impacto en el futuro.

Palabras clave: Teoría de juegos, enfoque estándar mínimo, equilibrio.

* Economista, Doctorante Ciencias Económicas, Docente universitario, Colombia. Email: prudymedina@hotmail.com

** Economista, Doctorante Ciencias Económica, LUZ. Docente Universitario, Colombia. Email: elea-rangoj@hotmail.com

*** Economista, Doctorante Ciencias Económica, LUZ. Docente Universitario, Colombia. Email: elida-alzamora@hotmail.com

Equilibrium condition game theory applied to approach standard minimum insurance conservation

Abstract

Game theory is a tool to examine the strategic behavior of the participants, from its three basic characteristics: Rules, Strategies and rewards or results, members of the game act precisely motivated by maximizing profits, and assumes that opponents are rational, you take into account the expected behavior of the other, is considered the mutual recognition of interdependence. Its application in the real world is manifested in situations where, as in the games, the result of an action depends on the decision or set of decisions that each participant takes in the course of a particular objective of this lapso. El essay is to analyze the approach of minimum insurance standard as operating principles and institutional support some state decisions related to sustainable development through model prisoner's dilemma and the Hawk or Dove game theory model, establishing in both cases the condition John Nash equilibrium developed on the same theory, conducting an economic analysis as to the uncertainty that involves the irreversible destruction of non-quantifiable in this environmental resources but its impact in the future are evident.

Key words: Game theory, minimum standard approach, balance,

Introducción

Los juegos se generan con el simple hecho de interrelacionarse los seres vivos entre sí, es muy común enfrentarse todos los días a decisiones que involucran de alguna manera los elementos que componen un juego, es decir el adversario, las reglas, las estrategias y el conjunto de incentivos formalizados para los posibles resultados que siempre dependen de cómo juega el oponente, de ahí el interés en el estudio de esta teoría, para el análisis de las situaciones a las que se enfrenta un tomador de decisión.

El presente trabajo relaciona la **teoría de juegos** desde los aportes que han desarrollado sus diferentes seguidores Neumann, Morgenstern, Nash, Bishop, entre otros, aplicado al principio operativo del enfoque del estándar mínimo seguro de la conservación, que establece a través de un criterio de decisión unos niveles mínimos en el flujo de los recursos naturales de una zona crítica para garantizar la posibilidad de reconstruir la reserva en el futuro y el mantenimiento de la biodiversidad, equilibrando los estados de la naturaleza que intervienen en el uso y abuso de los mismos.

El análisis del indicador de estándar mínimo seguro de la conservación se desarrolló a través de la matriz de pago de la teoría de juegos propuesta por Bishop en 1978, usando el criterio minimax, es decir minimizando las máximas pérdidas posibles, este criterio asume que se conocen

las pérdidas con certeza, en cada combinación de posibles estrategias de la matriz de pago conservar o explotar los recursos por parte del tomador de decisión o agotar no agotar los recursos por parte de la naturaleza. Esto es la mayor parte de las veces la fuente de la incertidumbre.

Los principales hallazgos están orientados a establecer que en la matriz del dilema del prisionero el equilibrio de Nash (1950) se logra cuando el tomador de decisiones opta por la estrategia explotar los recursos naturales y la naturaleza responde agotando dichos recursos esta es la estrategia dominante para ambos agentes del juego. Siendo este un ejemplo de juegos no cooperativos.

En el modelo halcón paloma, existen dos equilibrios, cuando uno de los dos agentes tiene el comportamiento agresivo de halcón, explotando o agotando los recursos y el otro asume una condición calmada como las palomas y decide conservar los recursos o no agotarlos, en estos dos escenarios se da el equilibrio de Nash (1950), cuando el uno gana y el otro sede, evitando los costos de entrar en una confrontación halcón- halcón donde casi siempre los daños de la agresión superan las posibles ganancias que se generarían, o paloma- paloma donde obtendrían una ganancia promedio, compartida entre los dos.

Problema de investigación (planteamiento del problema, objetivos e importancia y justificación)

Hoy en día existe en todo el mundo graves problemas relacionados con las reservas naturales debido a que desde hace mucho tiempo han sido explotadas sin ningún control y están llegando a un punto crítico de sostenibilidad en cuanto a reservas para el futuro, la biodiversidad, y que estos recursos puedan ser explotados y reconstruidos más adelante. En este sentido el objetivo en este trabajo es el de presentar los resultados del indicador de estándar mínimo seguro de la conservación utilizando la matriz de pago del dilema del prisionero y el modelo halcón-paloma, hallando en ambos casos el equilibrio de Nash (1950), utilizando en criterio maximin, que maximiza la mínimas pérdidas posibles, asumiendo que se desconoce el valor esperado de cada posible resultado, actuando con reserva en la solución del mismo, dada la incertidumbre que se presenta al cuantificar el impacto que cada conjunto de estrategias tendría. Teniendo así hallazgos orientados a una matriz dilema en donde el tomador de decisiones puede optar por la estrategia de explotar los recursos naturales y la naturaleza responde agotando dichos recursos esta es la estrategia dominante para ambos agentes del juego. Una vez definido esto se sabrá si se puede aplicar el modelo halcón paloma en donde existen dos equilibrios si se agotan los recursos por el tomador o simplemente la naturaleza actúa de forma calmada, uno gana el otro sede.

Marco referencial

Evolución histórica de la teoría de juegos

En un ensayo realizado por Medina (2015), la primera discusión conocida de la teoría de juegos aparece cuando James Waldegrave en el año 1713, proporciona una solución minimax de estrategia mixta a una versión para dos personas para el juego de cartas, luego Antoine Augustin Cournot en 1838, realiza un análisis más general y hace una publicación sobre los principios matemáticos de la teoría de juegos donde considera un duopolio y presenta una solución que es una versión restringida del equilibrio de Nash (1950), citado por Torres (2015). El estudio de la *Teoría de Juegos* pertenece precisamente a una categoría de las matemáticas aplicadas, no sin dejar de utilizar otras áreas de la ciencia, como las probabilidades, la estadística y la programación lineal en conjunto con la teoría de juegos, para realizar aplicaciones en la economía, ciencias políticas, sociales, estrategias militares, biología evolutiva, y la psicología, a partir de modelos estructurados según las reglas y definiciones que se han desarrollado en esta teoría, donde la situación de conflicto a solucionar se modela sin tener en cuenta los factores o componentes que no inciden directamente en dicho conflicto y en su solución.

Las contribuciones más relevantes en la teoría objeto de este estudio la realizó Von Neuman (1928) citado por Monsalve (2003), a partir de una serie de artículos que publicó durante la guerra fría con el fin de aplicarla a la estrategia militar, estos resultados fueron ampliados más adelante con Oskar Morgenstern en el año 1944, cuando publicaron el libro *The Theory of Games Behavior* donde desarrollaron dos planteamientos distintos de esta teoría. El primero *el planteamiento estratégico o no cooperativo*. En este planteamiento se parte de la racionalidad de los individuos, los jugadores deben saber de manera detallada lo que pueden y no pueden hacer durante el juego buscando maximizar sus propios objetivos y luego cada jugador busca una estrategia óptima, que por lo general corresponde al mayor valor logrado dentro del juego. En el segundo planteamiento los autores desarrollaron *el planteamiento coalicional o cooperativo* en la que describieron la conducta óptima en juegos con varios jugadores, en este caso, se pretende maximizar sus propios objetivos pero a través de un trabajo compartido, debido a su complejidad los resultados fueron menos precisos, que los alcanzados para el caso de juegos de suma cero y dos jugadores Bravo (2006).

Uno de los aportes más importantes a partir de los planteamientos de Neuman y Morgenstern (1944), fue el que realizó en su tesis doctoral John Forbes Nash en el año 1950, quien estableció la solución para juegos estratégicos no cooperativos, lo que es llamado *el equilibrio de Nash*, quien tuvo reconocimiento inmediato entre los especialistas del tema. *El punto de equilibrio de Nash es una situación en la que ninguno de los jugadores siente la tentación de cambiar de estrategia ya que cualquier cambio implicaría una disminución en sus pago para la solución formal del problema*, Nash utilizó funciones de mejor res-

puesta y el teorema del punto fijo de los matemáticos Brouwer y Kakutani Bravo (2006), citado por Monsalve (2003).

De acuerdo con el autor citado, los investigadores Robert J Aumann y Thomas C Schelling (1960-1980), realizaron grandes aportes con su libro *The Strategy of Conflict*, Schelling (1960), trabajaron en modelos dinámicos, aplica la Teoría del Juego a las ciencias sociales. Aumann fue pionero en realizar un amplio análisis formal de los juegos con sucesos repetidos contribuyó más a la escuela del equilibrio. La teoría de los Juegos repetidos es útil para entender los requisitos para una cooperación eficiente y explica porque es más difícil la cooperación cuando hay muchos participantes y cuando hay más probabilidad de que se rompa la interacción. La profundización en estos asuntos ayuda a explicar algunos conflictos, como la guerra de precios y las guerras comerciales (Bravo, 2006).

Conceptos y elementos de la teoría de juegos

Se denomina juego a la situación interactiva especificada por el conjunto de participantes, las reglas establecidas por los mismos, las estrategias o posibles cursos de acción que puede seguir cada participante desde el inicio hasta el logro de posible resultado o utilidad que dependerá del conjunto de estrategias escogidas por cada participante del juego. El término *Juego* se refiere a condiciones de conflictos de negocios en el transcurso del tiempo, en este contexto, se dice que un juego incluye dos o más tomadores de decisiones que buscan maximizar su beneficio, empleando técnicas matemáticas y el pensamiento lógico a fin de descubrir la mejor estrategia posible para vencer a su (s) competidor (es). Un juego tiene tres características básicas: Reglas, Estrategias y recompensas o resultados (Quiroga, 2006.)

La Teoría de Juegos se contrapone al análisis de decisión, en donde se hace la suposición que el tomador de decisión está jugando un juego contra un oponente pasivo que elige sus estrategias de alguna manera aleatoria. En los aspectos teóricos desarrollados por esta teoría el oponente participa activamente en la situación haciendo parte del *Juego*, utilizando sus estrategias porque también necesita maximizar su resultado o utilidad. Un objetivo primordial de la teoría de juegos es desarrollar criterios racionales para seleccionar una estrategia por cada participante, los cuales implican dos suposiciones importantes:

- Ambos jugadores son racionales
- Ambos jugadores eligen sus estrategias sólo para promover su propio bienestar (sin compasión para el oponente)

Antes de iniciar el juego, cada jugador conoce las estrategias con las que cuenta, las que tiene su oponente y la matriz de pago. Una estrategia es una acción, una regla predeterminada específica por completo, cómo se intenta responder a cada circunstancia posible en cada etapa del juego. Una jugada real en el juego consiste en que los jugadores elijan al mismo tiempo una estrategia sin saber cuál es la elección de su oponente.

La Matriz de Pago, esta es esencial porque muestra los resultados correspondientes a todas las combinaciones de alternativas de decisión y estados de la naturaleza, cada entrada de la matriz se puede cuantificar en términos de utilidad, costo, tiempo o cualquier otra medida de resultado que pudiera ser apropiada para cada situación específica, muestra la ganancia o pérdida (positiva o negativa) para el jugador A que resultaría con cada combinación de estrategias para los dos jugadores.

El equilibrio de Nash

A principio de los años cincuenta, en una serie de artículos muy famosa el matemático John Nash (1950), rompió dos de las barreras que Von Neumann y Morgentern (1944,) se había auto-impuesto en cuanto a la idea de equilibrio en cada una de las estrategias tomadas. Hoy día, la noción de equilibrio de Nash (1950), establece que la elección estratégica de cada jugador es la respuesta óptima a las elecciones estratégicas de los otros jugadores. Nash desarrolló una definición de una estrategia óptima para juegos de múltiples jugadores donde el óptimo no se había definido previamente, conocido como equilibrio de Nash (1950), este equilibrio es suficientemente general, permitiendo el análisis de juegos no cooperativos además de los juegos cooperativos.

La fundamentación esencial del equilibrio de Nash (1950), es que los agentes involucrados en el juego no pueden romper los acuerdos previamente establecidos, porque al asumir de manera unilateral romper las reglas, corre el riesgo de perder o ganar menos de lo que hubiera ganado dentro del pacto (Monsalve, 2003).

En el equilibrio de Nash (1950) *A cada conjunto de estrategias denominado con frecuencia **combinación de estrategias***, que es una por jugador, se le asocia una salida del juego, caracterizada por las ganancias expresadas en forma de números que le toca a cada uno. Entre estas salidas puede haber unas más *interesantes* que otras, por ejemplo las que *“reportan más*. Sin embargo, como regla general, la mayoría de las salidas si no la totalidad, no son comparables entre ellas en el sentido que el paso de una a otra se traduce en un aumento de ganancias para unos y una baja para otros” Guerrien (2008), citado por Medina (2015), en efecto, cada una de estas salidas en la matriz de pago muchas veces tienen un valor nominal, tienen un carácter simbólico, aunque en algunas aplicaciones como la famosa matriz del **dilema del prisionero**, los valores están establecido en la escala de razón, representan los años que cada prisionero pasará en la cárcel, de igual manera, en las aplicaciones de un entorno real la matriz de pago del dilema del prisionero tiene unas características específicas que no están asociadas a la cuantificación de los valores establecidos en la salida, sino a la lógica interactiva de las estrategias propias del juego.

Dilema del prisionero
Matriz de pago

		Preso Y	
		No Confesar	Confesar
Preso X	No Confesar	2/2	10/1
	Confesar	1/10	5/5

Fuente: Quiroga (2006).

Características de la matriz Dilema del prisionero

- Confesar uno solo debe ser mejor para él, que no confesar mutuamente.
- No confesar mutuamente, debe ser a su vez mejor que confesar ambos.
- Cuando cada uno elige una estrategia diferente, confesar y no confesar, la ganancia media entre estas dos estrategias no puede ser mejor que las estrategias de confesar ambos.

Este juego es un ejemplo claro de juegos no cooperativos, ya que los prisioneros no están en contacto y por lo tanto no formalizan previamente unos acuerdos o una coalición, es claro entonces que la estrategia dominante en este caso es que ambos se traicionen recibiendo cada uno cinco años de cárcel, esta sería la condición de equilibrio para este juego, pero sería la misma solución en caso de que ambos establecieran acuerdos previos de cooperación y decidieran no confesar, a pesar de que en este caso recibirían solo dos años de cárcel, esta que sería una condición *ideal*, poco existe en situaciones de conflictos en escenarios reales, por la misma naturaleza egoísta de los jugadores que siempre van a tratar de buscar su propia conveniencia. En estas condiciones nunca se logra un nivel de cooperación.

Otras de las aplicaciones importantes de la *Teoría de Juegos* es la representada con la matriz *Halcón Paloma* este modelo analiza situaciones de conflicto entre estrategias agresivas y conciliadoras, es un juego para dos personas simétrico donde la rentabilidad se analiza a partir de la siguiente matriz.

Halcón Paloma

Matriz de pago

	Si encuentra un Halcón	Si encuentra una Paloma
Halcón Recibe	$\frac{G-C}{2}, \frac{G-C}{2}$	G,0
Paloma Recibe	0,G	$\frac{G}{2}, \frac{G}{2}$

Fuente: Quiroga (2006).

El comportamiento de los Halcones representa una estrategia de lucha, al ser un animal dotado de fuerza y poder, en este juego se asemeja al agente que tiene un comportamiento agresivo, demostrado a través de la lucha que realiza hasta obtener el recurso que persigue. Mientras que las Palomas, nunca luchan por el recurso, tienen una faceta en los enfrentamientos de rendición en el juego. En este sentido, en muchas situaciones se han aplicado combates, retiradas y victorias que suelen ser comunes (Quiroga, 2006).

Ganador: +G

Perdedor: -C si pelea, siendo C el costo de las heridas que aparecerán luego de la lucha

Los posibles encuentros son:

PP: Si un paloma encuentra a otra, aunque se hagan demostraciones de fuerza, una de ellas se retira cediendo. El ganador recibe G, y el perdedor, nada. El pago medio es entonces $G/2$.

HD: Si el Halcón se encuentra una paloma, la paloma se retira, y el halcón recibe G de ganancia y la paloma recibe 0

HH: Si un Halcón se encuentra un Halcón, Los dos "escalan" hasta llegar a la lucha física, en la que uno gana y la otra pierde. El ganador recibe G y el perdedor -C. El pago medio es $(G - C)/2$, que puede ser negativo si $C > G$ se supone que el costo de la lucha es superior a la ganancia de la pelea (Abramson, 2006).

Este juego se asemeja al del dilema del prisionero cuando ambos deciden cooperar que es la entrada (paloma, paloma), pero en este caso existe una estrategia agresiva de destrucción cuando ambos escogen atacarse (halcón, halcón), uno de los dos decide no cooperar aunque el otro no lo haga, a diferencia del dilema del prisionero, en este existen dos equilibrios de Nash que es el caso donde (halcón, paloma) y (paloma, halcón) que es la mejor opción para cada uno según la decisión que tome el otro.

Con respecto a entornos económicos como la negociación para el incremento salarial que se realiza a principio de año a nivel estatal, los intereses particulares que existen en la mesa de negociación por parte de

las centrales obreras, las empresas privadas y el gobierno se podrían analizar desde los conceptos establecidos por la teoría de juegos, cada actor fija un incremento salarial según los argumentos que defienden su posición, pero al final la decisión se toma a partir de un equilibrio que no está generado precisamente por la unanimidad de los participantes porque no existe una salida que logre este resultado.

Por su parte en la definición del equilibrio de Nash el adjetivo *unilateral* ocupa un lugar esencial, en tanto ello traduce el carácter *no cooperativo* de las elecciones individuales (el *cada cual para sí mismo*). Es bastante posible que en un equilibrio de Nash la situación se pueda mejorar para todos por medio de un *cambio simultáneo* de estrategia por parte de varios jugadores.

Los aportes establecidos por los criterios de decisión maximin y minimax en la ubicación de puntos de equilibrio de Nash en la matriz de pago, explican claramente los conceptos inherentes a la naturaleza de este equilibrio en la teoría de juegos. Se analizará el caso de los juegos para dos personas y suma cero, como su nombre lo indica participan sólo dos adversarios o jugadores (que pueden ser personas, empresas, instituciones, equipos, naciones, la naturaleza entre otras). Se llaman juegos de suma cero, porque un jugador gana lo que el otro pierde, de modo que la suma de sus ganancias netas son cero, aunque existen diferentes enfoques para describir este tipo de juegos. En general un juego de dos personas se caracteriza por:

1. Las estrategias del jugador A
2. Las estrategias del jugador B
3. La matriz de pago

En el análisis de decisión utilizado para seleccionar una estrategia, quien toma la decisión enfrenta varias alternativas y un patrón incierto de eventos futuros, es por esta razón que un pago es la consecuencia que resulta de la combinación de una alternativa elegida (Variable de decisión) y la ocurrencia de un particular estado de la naturaleza (evento o variable no controlable), en que la utilidad no necesariamente es proporcional a la cantidad de dinero (o cualquier otro bien), cuando se manejan cantidades grandes.

Existen tres enfoques que hacen parte de la matriz de pago:

Enfoques Optimista

- Un problema de maximización lleva a elegir la alternativa con el máximo de los resultados máximos (Máximax)
- Un problema de minimización lleva a elegir la alternativa con el mínimo de los resultados mínimos (Minimin)

Enfoque conservador

- Evalúa cada alternativa de decisión en función del peor pago que pueda ocurrir

- En un problema de Maximización lleva a elegir la alternativa que maximice la utilidad mínima obtenida (Maximin)
- En un problema de minimización lleva a elegir la alternativa que minimice el costo máximo obtenible (Mínimax)

Enfoque Mínimax de costo de oportunidad

- Este criterio no es totalmente optimista ni totalmente conservador
- La alternativa a elegir es la que tenga mínimo costo de oportunidad entre los máximos costo de oportunidad calculado.

El criterio final de esta línea de razonamiento es que cada jugador debe jugar de tal manera que **minimice su pérdida máxima** siempre que el resultado de su elección no sea aprovechado por su oponente para mejorar su posición. Esto se conoce criterio **mínimax** es un criterio estándar que propone la teoría de juegos para elegir sus estrategias, este criterio dice que se seleccione la mejor estrategia aun cuando la elección fuera anunciada al oponente antes de que el oponente eligiera su estrategia. En términos de la matriz de pago, implica que el jugador A debe elegir aquella estrategia cuyo pago mínimo sea mayor, mientras que el jugador B debe elegir aquella estrategia cuyo pago máximo al jugador A sea el menor. Este criterio identifica la estrategia maximin para el jugador A y la estrategia mínimax para el jugador B.

Ahora bien, cuando al seleccionar cada estrategia en la matriz de pago el elemento es el mismo tanto para el jugador A como para el jugador B se dice que hay un punto de silla, el hecho de que un juego posea un punto de silla es esencial para determinar cómo se debe jugar. A causa de dicho punto, ningún jugador puede aprovechar la estrategia de su oponente para mejorar su propia posición, ningún jugador tiene motivos para considerar un cambio de estrategias, para quedar con ventajas respecto a su oponente, o para evitar que su oponente tenga ventajas. Entonces esta es una solución estable (llamada también solución de equilibrio) y cada jugador debe, exclusivamente emplear sus respectivas estrategias maximin y mínimax, cuando un juego no tiene el punto de silla el análisis es más estructurado, porque hay que aplicar estrategias mixtas en donde se asigna a cada jugador una distribución de probabilidad sobre su conjunto de estrategias originales o puras (Hillier y Lieberman, 2002).

Ambientes de decisión: el análisis de decisión implica el uso de un proceso racional para seleccionar la mejor entre varias alternativas. La *bondad* de una alternativa seleccionada depende de la calidad de los datos utilizados para describir la situación de decisión. Desde este punto de vista, un proceso de toma de decisiones cae en una de tres categorías:

1. Toma de decisiones bajo Incertidumbre en la que se conocen los datos de forma determinística.
2. Toma de decisiones bajo riesgo en la que los datos se describen mediante distribución de probabilidad.

3. Toma de decisiones bajo incertidumbre en la que no es posible asignar a los datos pesos relativos que represente su grado de relevancia en el proceso de decisión.

De hecho bajo certidumbre los datos están bien definidos y bajo incertidumbre los datos son ambiguos, así la toma de decisiones bajo riesgo representan los datos *a la mitad de camino* (Taha, 2005).

Enfoque del estándar mínimo seguro y desarrollo sostenible

En la búsqueda de un equilibrio ambiental se ha cuestionado muchas veces si todas las actividades económicas que dañan el medio ambiente benefician o compensan en la misma magnitud a los que sufren las consecuencias de estas actividades, la discusión sería en torno al daño ecológico de los recursos no renovables y de los daños irreversibles. El problema radica en que son precisamente los países en vías de desarrollo al ser menos poderosos y no tener políticas bien definidas en cuanto a sostenibilidad y sustentabilidad a nivel nacional, los que sufren las consecuencias de los daños ocasionados con este crecimiento económico.

De acuerdo con Medina (2015), la comisión Brundtland (WCED 1987), estableció la definición más difundida de desarrollo sostenible *progreso que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades* es claro que esta definición toca dos aspectos importantes sobre el desarrollo sostenible, lo primero asegurar a lo largo del tiempo la permanencia en el mundo de las futuras generaciones y lo segundo esta relacionado con la capacidad de transferir una mejor calidad de vida de una generación a otra.

Para Solow (1991:3), la equidad en la distribución es el principio básico de la sostenibilidad referida a compartir bienestar entre personas de hoy y las del futuro. *“Es la obligación para conducirnos nosotros mismos y dejar a la generación futura la opción de la capacidad de estar también como nosotros. La sostenibilidad es un mandato no para satisfacernos a nosotros mismos sino para el mejoramiento de nuestros sucesores”*.

Existen diversas posturas sobre el concepto de desarrollo sostenible y enfoques de cómo se podrían medir la sostenibilidad a través de sus respectivos indicadores, lo que se pretende es establecer si la distribución económica va en la misma vía o a la par de la distribución ecológica, si una conlleva a la otra.

El Instituto de Recursos Mundiales (WRI), propone una metodología de contabilidad ambiental para poder explicar aquellos factores que la contabilidad económica tradicional no tiene en cuenta. Los estudios basados en estas contabilidades rechazan el tratamiento del producto interno bruto (PIB), como medida de beneficio generado por el agotamiento de los recursos naturales, porque este no refleja la utilización del capital natural, en las contabilidades ambientales, se revisa el Producto Interno Bruto como medida convencional para exponer el valor estimado del deterioro y agotamiento de los recursos naturales y por medio de esta

vía se desarrolle un sistema que refleje la ventaja social del desarrollo económico.

Uno de los principios operativos que soportan algunas decisiones institucionales y estatales relacionadas con el desarrollo sostenible es el enfoque del estándar mínimo seguro. Ciriaty Wantrup (1952) citado por Monsalve (2003), establece el concepto de estándar mínimo seguro (SMS), de la conservación, y este no es más que una regla de decisión por la cual el flujo de recursos de una zona crítica se mantendría a un nivel que hace posible reconstruir la reserva en el futuro.

Arias (2006), afirma: “Cuando es difícil cuantificar monetariamente los impactos ambientales o cuando existen incertidumbre sobre el daño de las acciones humanas sobre el ambiente y también sobre la irreversibilidad de estas acciones, la sociedad puede elegir no permitir que los recursos ambientales (capacidad de asimilación de la contaminación, los bosques o poblaciones de especies, entre otras) se reduzcan más allá de un estándar mínimo seguro. Sobreparar este estándar mínimo seguro sólo estaría permitiendo si el costo de mantenerlo es intolerablemente alto” (Arias, 2006:22).

El principal problema que enfrenta el sistema de políticas ambientales, es la insuficiente información que existe en cuanto a las cifras otorgadas por el sistema de cuentas económicas y ecológicas, estas son incompletas existen deficiencias metodológicas en la forma como se recopila y se lleva la base de datos, aunque este planteado como una manera de generar mayor equidad intergeneracional no es fácil aun con las políticas impositivas que de alguna manera vincula el sistema económico con el sistema ecológico.

Perspectiva metodológica

El método utilizado en el análisis de los resultados es el enfoque estándar mínimo seguro de la conservación, desarrollado desde la teoría de juegos. Que se modela a partir de la matriz de pagos definida en la teoría de juegos, con un tomador de decisiones que tiene dos alternativas explotar o conservar la naturaleza, esta a su vez como adversario tiene las opciones de agotar o no agotar los recursos. Cada una de las entradas de la matriz sugiere la pérdida máxima que se obtendría; en el caso explotar no agotar la pérdida es nula, porque el recurso no se agota, en el caso explotar-agotar el daño es irreversible la pérdida es r porque el recurso se agota. En el caso de conservar los gastos de la conservación serán z .

Matriz de pago ambiental

		Naturaleza		
		No agotar	Agotar	Máxima pérdida
Tomador de Decisión	Explotar	0	r	r
	Conservar	z	z	z

El criterio minimax, minimiza las máximas pérdidas posibles, para aplicarlo se establece, las máximas pérdidas posibles de cada estrategia para cada estado del ambiente, última columna, y luego se escoge dentro de estos datos el menor. Para este juego conservar es una mejor estrategia si los costos de la conservación son menores que las pérdidas del agotamiento (principio de precaución). El estándar mínimo seguro, cambia esta regla de decisión, ya que postula que debe conservarse a menos que los costos de hacerlo sean excesivamente altos. El cambio se justifica porque bajo el criterio de minimax se asume conocer las pérdidas con certeza, lo que regularmente es la fuente de la incertidumbre.

El criterio maximin se desconoce a priori el valor esperado del beneficio de los participantes, las acciones utilizadas en su aplicación suelen ser bastante conservadoras, ajustado más al principio de precaución, establece que ante la incertidumbre generada por los efectos negativos de las acciones humanas sobre el ambiente y de los cambios ambientales sobre los humanos, donde en algunos casos son irreversibles, se ha recomendado que la sociedad debe tomar acciones antes que la incertidumbre sea resuelta. Este será el criterio utilizado en el análisis de los resultados.

Se aplicará la matriz de pago del dilema del prisionero donde el tomador de decisiones y la naturaleza serían los dos prisioneros y los estados conservar y explotar o *No agotado* y *agotado* serían lealtad y traición respectivamente, las entradas en la matriz representan las ventajas que tendría cada uno siendo el menor valor la mejor decisión para cada uno.

Para el análisis con el modelo Halcón - Paloma se considera el tomador de decisiones y la naturaleza, donde cada uno puede asumir un comportamiento agresivo de lucha halcón, sería la posición explotar los recursos por parte del tomador de decisiones o agotar los recursos por parte de la naturaleza, o durante el enfrentamiento asumir una posición de pasiva de rendición Paloma, que sería la condición conservar por parte del tomador de decisiones y no agotar como respuesta de la naturaleza.

En ambos casos se hallará el equilibrio de Nash (1950), utilizando el criterio maximin

Resultados

Los resultados del análisis están dirigidos a demostrar el comportamiento del tomador de decisiones y de la naturaleza desde el enfoque del estándar mínimo seguro de la conservación, aplicando la matriz de pagos del dilema del prisionero la matriz halcón - paloma, para definir el equilibrio de Nash en ambos

Análisis de la matriz de pago ambiental dilema del prisionero

Matriz de pago ambiental

		Naturaleza	
		No agotar	Agotar
Tomador de Decisión	Conservar	2/2	10/1
	Explotar	1/10	5/5

Fuente: Matriz de la matriz de pago ambiental equilibrio de Nash.

Al analizar al tomador de decisiones, suponiendo que los recursos naturales no se agotan y decide conservar obtendría menos beneficios que si explotara la naturaleza, al contrario si cree que la naturaleza agota sus recursos no importando los planes de sostenimiento que se hagan, explotar le genera más beneficios que conservar, por lo tanto no importa lo que haga la naturaleza, al tomador de decisiones le va mejor explotando los recursos naturales, esta es su estrategia dominante; Analizando el caso para la naturaleza que no es considerado un oponente pasivo, asumiendo que el tomador realizará esfuerzos de conservación de la naturaleza, a esta le conviene agotar los recursos, de igual manera que si el tomador de decisiones decidiera explotar los recursos a la naturaleza le conviene agotarlos esta es su estrategia dominante y sería el único equilibrio de Nash (1950), que existe donde el tomador de decisiones explota los recursos y la naturaleza los agota.

Equilibrio de Nash

Matriz de pago ambiental

		Naturaleza		
		No agotar	Agotar	Mínima pérdida
Tomador de Decisión	Conservar	2/2	10/1	1
	Explotar	1/10	5/5	5
Mínima pérdida		1	5	5

Fuente: Matriz de la matriz de pago ambiental equilibrio de Nash(1950).

Al establecer las mínimas pérdidas para ambos jugadores (el tomador de decisiones y la naturaleza) se observa que el equilibrio se encuentra con el criterio maximin al escoger la máxima de las mínimas pérdidas, que es la posición en la matriz donde ambos aplican su mejor estrategia. Se observa que los resultados más representativos de este análisis son:

Las acciones conservar la naturaleza por parte del tomador de decisiones y *No agotando* los recursos como respuesta de la naturaleza, esta no es la decisión final porque prima el interés particular de cada agente del juego, primando la condición de juegos no cooperativos.

Así mismo podrían darse algunos acuerdos previos de sostenimiento ambiental y preservación de la biodiversidad, estos no se mantendrían

y la naturaleza o el tomador de decisiones tarde o temprano responderían no respetando estos acuerdos. El equilibrio de Nash se obtiene cuando el tomador de decisiones y la naturaleza deciden la traición, teniendo un comportamiento egoísta de jugador al generar su propio beneficio, aunque en la lealtad conservar – no agotar se generara el mejor beneficio para ambos.

El equilibrio de Nash se hubiera logrado aún si cada agente que interviene en el juego hubiera sabido con antelación la respuesta del otro, porque la decisión explotar resulta ser la elección óptima del tomador de decisiones dada la elección de la naturaleza, y agotar resulta ser la decisión óptima de la naturaleza dada la elección del tomador de decisiones.

Análisis de la matriz de pago ambiental: Halcón Paloma

Matriz de pago ambiental

		Naturaleza	
		Agotar Halcón	Paloma No agotar
Tomador de Decisión	Explotar Halcón	-1,-1	10,0
	Conservar Paloma	0,10	5,5

Fuente: Matriz de análisis modelo Halcón, Paloma.

Si el tomador de decisión enfrenta a la naturaleza de manera agresiva, explotando los recursos (halcón), esta se revela y su actuar es agresivo, agota los recursos (halcón) y ambos pierde, la mejor estrategia para el tomador de decisiones en este caso es retirarse, es decir conservar los recursos (paloma), porque si decide enfrentarla sus pérdidas serían mayores.

De igual manera, si el tomador de decisiones asume que la naturaleza decide ser pasiva, no agotar los recursos (paloma) le conviene responderle de manera agresiva, explotando los recursos (Halcón), es la estrategia que le genera más ganancia. Si la naturaleza reacciona primero cuando sea agresiva, agotando los recursos (halcón) el tomador de decisiones debe responder de manera pasiva conservando los recursos (paloma) y viceversa, en este modelo existen dos equilibrios de Nash cuando ambos jugadores son respectivamente (paloma, halcón) o (halcón, paloma), que es la posición de máxima ganancia para ambos.

Se observa en la matriz de pago que la máxima perdida se obtiene cuando ambos deciden explotar – agotar porque por lo general los costos ocasionados por los daños que se ocasionan mutuamente, superan las ganancias, lo que a largo plazo no representa ningún beneficio.

Conclusiones

El equilibrio de Nash en los resultados de la matriz de pago del dilema del prisionero demuestra *la condición mínima de racionalidad individual exigible en la interacción que se da al resolver una situación de conflicto* en este modelo, a pesar de que la menor pérdida se establece en conservar – no agotar, el equilibrio se obtiene en agotar–explotar.

De igual manera en la matriz de pago halcón-paloma se demuestra *la condición mínima de racionalidad individual* cuando la mejor opción para cada uno es respondiendo como paloma de manera pasiva, cuando el otro decide ser agresivo como el halcón, es donde se obtiene el máximo beneficio para ambos en otro caso las pérdidas serían mayores para ambos. Ante la incertidumbre para cuantificar los costos del impacto que genera el agotar un recurso, se recomienda un criterio conservador como el maximin que considera todas las pérdidas mínimas y de esta selección la máxima posible, dado que no es posible saber con antelación el impacto de los daños ambientales.

En los indicadores de sostenibilidad y los principios operativos que soportan las decisiones institucionales se considera la naturaleza como un oponente pasivo sin tener en cuenta el comportamiento vectorial que esta tiene, demostrado desde la perspectiva de la teoría de juegos del dilema del prisionero y el modelo halcón paloma, como son las reglas impuestas para cada participante, las estrategias que pueden seguir cada jugador, la respuesta de adversario y la necesidad obtener el mejor resultado posible.

Referencias bibliográficas

- Abramson Guillermo (2006). **Introducción a la teoría de juegos**. Instituto Balseiro y CONICET.<http://fisica.cab.cnea.gov.ar/estadistica/abramson/notes/Introduccion-a-los-juegos.pdf>. 28 de marzo.
- Bravo Raspeño, Juan (2006). **Historia de las matemáticas: Teoría de Juegos recurso de internet** disponible en <http://issuu.com/rodolfocarpio/docs/name7f8de4>
- Hillier, Frederick Lieberman, Gerald (2002). **Métodos cuantitativos para administración: un enfoque de modelos y casos de estudio**. McGraw-Hill.
- Medina, Prudencia (2015). **Condición de equilibrio y enfoque mínimo en teoría de juego**. Revista tlatemoani. España.
- Monsalve, Sergio (2003). **John Nash y la teoría de juegos**. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. Lecturas Matemáticas Volumen 24.
- Monsalve, Sergio (2002). **Teoría de Juegos: ¿Hacia dónde vamos? (60 años después de Von Neumann y Morgenstern)**. Revista de Economía, Institucional No. 7 Universidad Externado de Colombia, Bogotá.

- Nash, John (1950). **Equilibrium points in n person games**, **Proceedings from the National Academy of Sciences**, USA 36:48–49.
- Quiroga, José Manuel (2006). **Agente de redes: Tipología y cooperación**. Trabajo de fin de carrera Universidad de Cataluña. [www.biodiversityinternational.org/ .../1466_11_Nota_Tecnica_3.pdf](http://www.biodiversityinternational.org/.../1466_11_Nota_Tecnica_3.pdf) disponible en internet, consultado el 29-01-2013
- Solow, Robert (1991). *Crecimiento y equidad: Cómo hacer economía y enseñarla*; Editorial Universitaria.
- Taha, Hamdy (2012). **Investigación de operaciones**. Novena edición. Pearson educación, México.
- Torres, Ricard (2015). **Equilibrio de Nash**. Instituto Tecnológico Autónomo de México Maestría en Finanzas Economía Financiera (Eco-44105).
- Von Neumann, John y Morgenstern, Oskar (1944). **Theory of Games and Economic Behavior**. Princeton, NJ: Princeton University Press.