

# Evaluación del equilibrio de Nash para la provisión de QoS basado en retardo en redes inalámbricas IEEE 802.11<sup>1</sup>

## Evaluation of Nash equilibrium in order to Provide QoS Based on Delay in IEEE 802.11 Wireless Networks

E. Astaiza, H. F. Bermúdez, L. F. Muñoz y M. F. Montero

Recibido agosto 17 de 2014 – Aceptado noviembre 20 de 2014

**Resumen**— En este artículo se aborda uno de los problemas que se presenta actualmente en las comunicaciones inalámbricas: garantizar calidad de servicio desde la perspectiva del retardo extremo a extremo en redes IEEE 802.11. Debido al inconveniente del retardo que se presenta en algunos servicios como audio, video y otras aplicaciones; el resultado de esta investigación, presenta una posible solución al mencionado inconveniente. Para afrontar este planteamiento se utiliza un modelo de juego en el que los usuarios que están dentro una red, acceden a diferentes puntos de acceso que prestan servicio, en este caso los jugadores actúan de forma no cooperativa y se

modela el juego como un juego estático, es decir asumiendo que los usuarios toman las decisiones simultáneamente. El concepto de solución que se utiliza es el equilibrio de Nash (EN) bajo los argumentos de equilibrio, este concepto de solución no implica que se logre el mejor resultado conjunto para los usuarios, sólo el mejor resultado para cada uno considerado individualmente, se diseña e implementa un algoritmo que permite encontrar este equilibrio, maximizando la utilidad de los usuarios.

**Palabras Clave** — teoría de juegos, juegos no cooperativos, redes inalámbricas 802.11, calidad del servicio, equilibrio de Nash, retardo extremo a extremo.

<sup>1</sup> Producto derivado del proyecto de Investigación “Algoritmos Para la Selección De Access Point En Redes 802.11 Basado en QoS: Un Estudio Restringido en Capacidad”, apoyado por la Facultad de Ingeniería, Centro de Estudios e Investigación de la Facultad de Ingeniería \_ CEIFI, Programa de Electrónica, Universidad del Quindío a través del Grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad del Quindío - GITUQ.

E. Astaiza PhD(c) Ciencias de la electrónica, MSc. Ingeniería, Área Electrónica y Telecomunicaciones. Profesor Asociado- Universidad del Quindío. Investigador grupo GITUQ. eastaiza@uniquindio.edu.co, eastaizah@unicauca.edu.co.

H. F. Bermúdez MSc. Electrónica y Telecomunicaciones. Profesor Asociado - Universidad del Quindío. Investigador grupo GITUQ. hfbermudez@uniquindio.edu.co, hebermudez@unicauca.edu.co.

L. F. Muñoz MSc. en Computación. Profesor Titular – Fundación Universitaria de Popayán – Miembro grupo LOGICIEL lfreddy@fup.edu.co.

M. F. Montero, Universidad del Quindío - Grupo de investigación en Telecomunicaciones de la Universidad del Quindío – GITUQ fernandamonterom106@gmail.com.

**Abstract**— This article addresses one of the problems currently present in wireless communications: guarantee quality of service from the perspective of end-to-end delay in IEEE 802.11 networks. Due to the delay that occurs in some services such as audio, video and other applications; the result of this research, presents a possible solution to the above problem. To address this approach, a model of game, in which users are provided access to different network access points that service is used, in this case the players act non-cooperatively, where the game is modeled as a static game, ie assuming that users make decisions simultaneously. The solution concept used is the Nash equilibrium (EN) under equilibrium arguments, this solution concept does not imply that the best overall result for users, only the best result for player considered individually, an algorithm is

achieved is designed and implemented and to find this equilibrium, maximizing the utility of users.

**Keywords**— games theory, noncooperative games, 802.11 wireless networks, quality of service, Nash equilibrium, end to end delay.

## I. INTRODUCCIÓN

Los avances, el desarrollo en telecomunicaciones, la necesidad de tener un eficiente flujo de información, y la percepción de un usuario de transmitir y recibir de manera correcta en el tiempo deseado, genera desafíos; es por ello, que uno de los retos que se tiene actualmente en el ámbito de las comunicaciones móviles e inalámbricas, es hacer que la nueva generación de estas redes satisfaga los requerimientos de los clientes.

Este desarrollo de las comunicaciones inalámbricas ha avanzado de manera significativa en los últimos años con la implementación de nuevas aplicaciones y la prestación de nuevos servicios que necesitan una transferencia de información en tiempo real; en aplicaciones como audio, video, juegos en línea entre otros, la calidad de servicio depende directamente del punto de acceso (AP) al que están conectados, es decir que el AP al que se conecta cada usuario satisfaga las necesidades de los usuarios y pueda brindar servicio con las características y necesidades de cada uno de ellos en lugares públicos como centros comerciales, aeropuertos, universidades, entre otras zonas en las que se concentra una gran cantidad de usuarios. Es necesario que cada usuario elija el punto de acceso que le proporcione la calidad del servicio (QoS) requerida.

Por lo anterior, en esta investigación se propone un algoritmo que permite garantizar que cada usuario, de manera egoísta, logre garantizar sus requerimientos de recursos de red, en este caso garantizar que el retardo extremo a extremo para el servicio del usuario, no supere el máximo tolerable por dicho servicio, tal que la red proporcione la QoS requerida. Desde esta perspectiva, cada usuario busca alcanzar su máxima utilidad en una red, es decir se busca encontrar el equilibrio de Nash (EN) en un juego en el cual, cada usuario está ejecutando la mejor estrategia que puede. Dadas las estrategias de los demás jugadores, cada usuario no gana nada modificando su estrategia mientras los otros mantengan las suyas, en otras palabras el equilibrio de Nash se define como un estado de la red en la que los usuarios (jugadores) no pueden mejorar su calidad de servicio por cambiar unilateralmente el AP al cual están realizando la conexión.

Todo esto se realiza utilizando la teoría de juegos, la cual se convierte en una herramienta básica en el diseño y el análisis de la nueva generación de redes de comunicaciones.

El equilibrio de Nash proporciona ese tipo de análisis como condición necesaria para que un perfil de estrategias sea la solución del juego, es decir, una predicción válida sobre el

comportamiento de los jugadores racionales [1].

Es por eso que el objetivo de esta investigación es el diseño un algoritmo que permita realizar la selección del AP en redes 802.11, utilizando la teoría de juegos no cooperativos, basado en restricciones retardo extremo a extremo, donde se considera garantizar calidad de servicio en el nivel de enlace bajo presunciones de mapeo adecuado de dichos requerimientos de tiempo, desde los niveles superiores, para propiciar una solución eficiente desde la perspectiva de la teoría de juegos.

Con el fin de dar solución al problema, se plantea un modelo de red en el cual se encuentran dos usuarios y dos puntos de acceso, en los que los usuarios desempeñan el papel de jugadores, quienes van a elegir la mejor estrategia para acceder al punto de acceso que les brinde una maximización de la utilidad. Este modelo puede ser extendido a una red conformada por  $n$  usuarios y  $n$  puntos de acceso, escenarios en que múltiples usuarios quieren acceder a un punto de acceso y se necesita cumplir con QoS.

## II. TRABAJOS RELACIONADOS

La teoría de juegos se convierte en una herramienta básica en el diseño y análisis de la nueva generación de redes de comunicación. Esta teoría puede utilizarse en una serie de aplicaciones como la asignación de recursos, la formación de redes, el enrutamiento, la gestión de interferencias, la gestión de redes dinámicas, la asignación de espectros, la transmisión cooperativa, la radio cognitiva, la seguridad, las redes ad hoc y la instalación de agentes inalámbricos [2].

Se han llevado a cabo diferentes trabajos en los que se desarrollan diversos temas y problemáticas, utilizando la teoría de juegos, en [3] se hace énfasis en redes multi-hop de acceso aleatorio que debido a su naturaleza facilita el despliegue de nuevas aplicaciones sobre las redes de sensores y computadoras, se analiza el retardo en acceso aleatorio de redes multi-hop y se resuelve el problema de maximización de la utilidad de retardo. En la referencia [4] se estudia el problema de la maximización de la utilidad para los clientes con requisitos de QoS basado en retardo en redes inalámbricas.

En trabajos como [5] y [6] se abordan los pagos o ganancias de energía-retardo en las redes inalámbricas, se estudian utilizando un marco de teoría de juegos y se propone un modelo basado en teoría de juegos para estudiar el problema uniendo potencia y control de la frecuencia con restricciones de calidad de servicio (QoS) en las redes de acceso múltiple respectivamente.

En la Universidad del Quindío se han desarrollado dos proyectos relacionados con esta temática, como se referencia en [7], proyecto en el que se aborda la selección de AP desde la teoría de juegos pero bajo restricciones de potencia. Se modelan algoritmos con métodos de solución de equilibrios de Nash, equilibrios de satisfacción, y equilibrios de satisfacción eficiente para lo que resulta este último, como el mejor

resultado ya que adecua las condiciones de los valores mínimos de capacidad y potencia que le permiten satisfacer la capacidad umbral requerida por cada usuario para garantizar QoS. En [8], el proyecto más reciente en el que se plantea la selección de AP en redes 802.11 basado en restricciones de ancho de banda utilizando teoría de juegos no cooperativos donde se considera garantizar calidad de servicio en el nivel físico a los usuarios desde la perspectiva exclusiva de la capacidad mínima requerida para cada servicio, bajo presunciones de mapeo adecuado de las tasas de transferencia de información desde los niveles superiores.

### III. EQUILIBRIO DE NASH

Existen distintos conceptos de solución a un juego, basados en dos clases de argumentos, los argumentos de dominación y los argumentos de equilibrio. En la solución de juegos mediante argumentos de dominación se busca eliminar las estrategias que se supone un jugador racional nunca utilizaría puesto que le generaban ganancias inferiores ante cualquier creencia que pudiera tener sobre el comportamiento de los rivales. Sin embargo, estos conceptos han permitido en la mayoría de los casos simplificar en alguna medida los elementos a analizar pero no se alcanza un resultado claro en la mayoría de las situaciones. Las soluciones mediante argumentos de equilibrio son quizás los conceptos de solución más importantes, en los cuáles se espera que los participantes conjuguen un perfil de estrategias constituido por modos razonables de jugar, llegando al equilibrio de Nash.

El Equilibrio de Nash (NE) es un perfil de estrategias del que ningún jugador desearía desviarse, es decir, en el que ningún jugador se arrepiente de la decisión tomada ya que está formado por estrategias que son óptimas frente a aquellas asumidas por el resto de jugadores. Sin embargo, esto no significa que en un NE cada jugador esté alcanzando el mejor resultado posible, sino el mejor resultado condicionado por el hecho de que los demás jugadores jueguen las estrategias indicadas para ellos en dicho perfil. El NE busca entonces maximizar la utilidad y es un estado de la red en la que los usuarios no pueden mejorar su tasa de transferencia de información por cambiar unilateralmente el AP al cual están realizando la conexión.

**Definición 1.** (Equilibrio de Nash) NE: *En el juego  $G = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$ , se dice que el perfil de estrategias puras  $(s_1^*, s_2^*, \dots, s_i^*, \dots, s_n^*)$  es un NE si para cada jugador  $u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i^*, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*) \geq u_i(s_1^*, \dots, s_{i-1}^*, s_i, s_{i+1}^*, \dots, s_n^*)$  para todo  $s_i$  de  $S_i$ . Es decir, para cada jugador  $i$ ,  $s_i^*$  es una respuesta óptima a  $s_{-i}^*$ . [1]*

Antes de iniciar la solución de un juego mediante la búsqueda de los puntos de equilibrios de Nash, es pertinente probar si efectivamente dichos puntos de equilibrio existen. Para esto, se cuenta con distintos teoremas con los cuales se puede comprobar o no tal existencia. [10] plantea incluso una metodología estructurada para la determinación de la misma, indicando qué teoremas aplicar según el tipo de juego con que se esté trabajando. El teorema 1 ha sido aplicado para

demostrar la existencia del NE y ha sido demostrado en [9], [10], [11], [12], [1], [13] y [14].

**Teorema 1.** Existencia del equilibrio de Nash (EN). *Sea el juego  $G = \{S_1, \dots, S_n; u_1, \dots, u_n\}$ , tal que, para todo jugador  $i$ , se cumple:  $S_i$  es un subconjunto no vacío, compacto y convexo de un espacio  $R^k$ .  $u_i$  es continua en todo su dominio  $S = S_1 \times S_2 \times \dots \times S_n$ , y es cuasicóncava en la variable  $s_i$ . Si se cumple estas condiciones, ó el juego  $G$  es finito existe al menos un EN en estrategias mixtas. [1]*

### IV. MODELO DEL SISTEMA

El sistema se plantea como un juego no cooperativo y estático, el cual está conformado por dos usuarios y dos AP que acceden a internet en una zona WiFi.

Es importante tener en cuenta que todo el procedimiento y solución para este modelo de juego es extensible a una red de  $n$  usuarios por  $n$  AP, que es un típico escenario en el que múltiples personas quieren acceder a internet mediante diferentes dispositivos, la Fig. 1 muestra el esquema de un sistema de comunicaciones en un escenario con 2 AP y 2 usuarios.

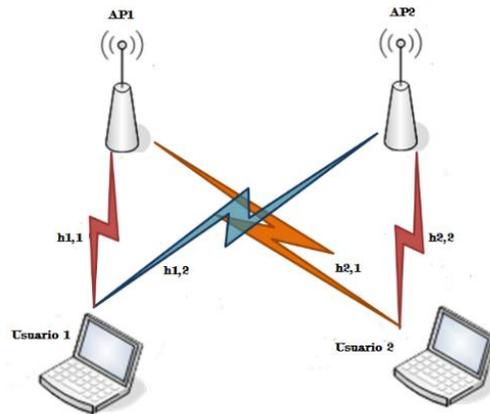


Fig. 1. Sistema de comunicaciones en un escenario con 2 AP y 2 usuarios

El juego se relaciona con la forma  $G = \{(i = 1, 2, \dots, n); y_{0,k}, y_{1,k}, \dots, y_{i,k}; u_k(y_k, y_{-k})\}$  en donde  $i$  es el número de jugadores o usuarios de la red,  $y_{i,k}$  es el rendimiento promedio en el tiempo, el cual cumple con las restricciones de retardo extremo a extremo que equivalen a cada una de las posibles estrategias que tiene disponible cada jugador y  $u_k$  como función de utilidad que dependerá básicamente del rendimiento promedio en el tiempo de acuerdo con la estrategia seleccionada por cada jugador.

La función de utilidad seleccionada se trabaja en [15], donde  $g(y)$  es una función continua y cóncava del Vector L-dimensional  $y(t) = (y_1, \dots, y_L)$ , se utiliza  $y$  para representar el rendimiento promedio en el tiempo en cada enlace. La función puede tomar valores positivos o negativos, y está definido por  $0 \leq y \leq 1$ .

$$g(y) = \log(1 + v_l y_l) \quad (1)$$

En [17] también se propone un método para resolver el problema de maximización donde se aplica un algoritmo para el control de flujo basado en retardo:

$$\text{Maximizar: } \sum_l x_l(t) \min[H_l(t), Z_l(t)] \psi_l(x(t), S(t)) \quad (2)$$

$$\text{Sujeto a: } x(t) \in \chi$$

Las variables  $H_l(t)$  y  $Z_l(t)$  representan tiempo de espera de cabecera del paquete del enlace  $l$  y el slot  $t$  y las colas virtuales respectivamente.

$$Z_l(t+1) = \max[Z_l(t) - \lambda_l + D_l(t) + y_l(t), 0] \quad (3)$$

$$H_l(t+1) = \alpha_l(t) \max[H_l(t) + 1 - (\mu_l(t) + D_l(t))T_l(t), 0] + \beta_l(t)A_l(t)$$

Si la transmisión sobre el enlace  $l$  ha sido exitosa  $\mu_l(t) = 1$ . Un indicador de variable es  $\alpha_l(t)$ , que depende del valor de la cola  $Q_l(t)$ , si  $Q_l(t) > 0$   $\alpha_l(t) = 1$  y es cero, si la cola está vacía. La variable  $\beta_l(t) = 1 - \alpha_l(t)$ .

Se define el vector de transmisión como  $x_l(t)$  y  $D_l(t)$  vector de descarte para el slot  $t$ . Por otro lado  $\psi_l(x(t), S(t))$  es la función de confiabilidad, la cual representa la probabilidad de que los canales de la red actual en el slot  $t$  son suficientes para soportar el intento de transmisión a través del enlace  $l$ , mientras  $Z_l(t)$  representa las colas virtuales para el enlace  $l$  y  $T_l(t)$  es el tiempo entre llegada de paquetes.

Es importante tener en cuenta que se trabaja con tiempo discreto con intervalos de "time slots" normalizados  $t = \{0, 1, 2, \dots\}$ . Hay  $L$  enlaces, los paquetes llegan al azar a cada slot y se ponen en cola por separado para la transmisión sobre cada enlace,  $A_l(t)$  es el número de paquetes que llegan a un enlace en un slot, se representa por  $D(\tau) = (D_1(\tau), \dots, D_L(\tau))$  es el vector de descarte para el slot  $\tau$ , dado el vector  $L$ -dimensional  $y(t) = (y_1, \dots, y_L)$ , donde  $y$  se utiliza para representar el rendimiento promedio en el tiempo en cada enlace,  $\lambda_l = E[A_l(t)]$  es una tasa de llegada para el enlace  $l$ ,  $Z_l(t)$  representa las colas virtuales para cada enlace y  $T_l(t)$  es el tiempo entre llegada de paquetes.

## V. METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL JUEGO

Se resalta el concepto de solución de un juego como un conjunto de perfiles de estrategias tales, que es razonable pensar que los jugadores tomarán decisiones pertenecientes a dicho conjunto, y se llama concepto de solución de un juego a un procedimiento que permita obtener una solución de manera precisa y bien argumentada [1].

La teoría de Juegos estudia una gran parte de juegos bipersonales por medio del análisis matricial. El análisis

matricial corresponde a la expresión, mediante matrices, de las situaciones que pueden ser generadas por las alternativas de decisión y acción de dos jugadores. El análisis matricial recurre a la forma llamada "Matriz de Pagos" la cual presenta las diversas opciones de decisión y acción de cada jugador y las situaciones resultantes particulares [16].

Para obtener la matriz de utilidades que se muestra en la tabla I, se tiene en cuenta el escenario planteado en la Fig. 1, en el cual se representan las estrategias del jugador o usuario 1 y jugador o usuario 2 en cada caso, es decir cuando accede a los puntos de acceso.

TABLA I.  
MATRIZ DE UTILIDADES EN UN JUEGO 2\*2

Usuario 1	Usuario 2		
	AP	AP1 (4)	AP2
AP1		$g_{11} = \log(1 + v_l y_{11})$ $g_{21} = \log(1 + v_l y_{21})$	$g_{11} = \log(1 + v_l y_{11})$ $g_{22} = \log(1 + v_l y_{22})$
AP2		$g_{12} = \log(1 + v_l y_{12})$ $g_{21} = \log(1 + v_l y_{21})$	$g_{12} = \log(1 + v_l y_{12})$ $g_{22} = \log(1 + v_l y_{22})$

Las condiciones para cada mejor respuesta son:

$$BR_1(AP_1) = \begin{cases} AP_1 & \text{si } \log(1 + v_l y_{11}) \geq \log(1 + v_l y_{12}) \\ AP_2 & \text{si } \log(1 + v_l y_{12}) \geq \log(1 + v_l y_{11}) \end{cases}$$

$$BR_1(AP_2) = \begin{cases} AP_1 & \text{si } \log(1 + v_l y_{11}) \geq \log(1 + v_l y_{12}) \\ AP_2 & \text{si } \log(1 + v_l y_{12}) \geq \log(1 + v_l y_{11}) \end{cases}$$

$$BR_2(AP_1) = \begin{cases} AP_1 & \text{si } \log(1 + v_l y_{21}) \geq \log(1 + v_l y_{22}) \\ AP_2 & \text{si } \log(1 + v_l y_{22}) \geq \log(1 + v_l y_{21}) \end{cases}$$

$$BR_2(AP_2) = \begin{cases} AP_1 & \text{si } \log(1 + v_l y_{21}) \geq \log(1 + v_l y_{22}) \\ AP_2 & \text{si } \log(1 + v_l y_{22}) \geq \log(1 + v_l y_{21}) \end{cases}$$

Los 4 posibles equilibrios de Nash en el juego de acuerdo con las estrategias seleccionadas son:

1.  $(AP_1, AP_1): \log(1 + v_1 y_{11}) \geq \log(1 + v_1 y_{12})$  y  $\log(1 + v_1 y_{21}) \geq \log(1 + v_1 y_{22})$
2.  $(AP_1, AP_2): \log(1 + v_1 y_{11}) \geq \log(1 + v_1 y_{12})$  y  $\log(1 + v_1 y_{22}) \geq \log(1 + v_1 y_{21})$
3.  $(AP_2, AP_1): \log(1 + v_1 y_{12}) \geq \log(1 + v_1 y_{11})$  y  $\log(1 + v_1 y_{21}) \geq \log(1 + v_1 y_{22})$
4.  $(AP_2, AP_2): \log(1 + v_1 y_{12}) \geq \log(1 + v_1 y_{11})$  y  $\log(1 + v_1 y_{22}) \geq \log(1 + v_1 y_{21})$

Para realizar la búsqueda del equilibrio de Nash, es necesario llevar a cabo un proceso de maximización para encontrar el punto en el que los usuarios van a obtener la mayor utilidad, representada en este caso como el rendimiento del sistema, es decir cuántos paquetes de información se envían en un intervalo de tiempo y la probabilidad de éxito con la que llegan al receptor, se tiene en cuenta las restricciones de retardo, las cuales dependen de la información que se almacena en la cola y la memoria disponible en el buffer.

## VI. RESULTADOS

El equilibrio de Nash no implica que se logre el mejor resultado conjunto para todos los usuarios, sólo el mejor resultado para cada uno de ellos, considerados de manera individual. Se debe desarrollar el algoritmo de maximización para el control de flujo basado en retardo planteado en la ecuación 2, teniendo en cuenta el escenario en el que se encuentran dos usuarios y dos AP, la información se transmite en dos enlaces, en cada slot viaja un paquete, el tamaño de paquete sigue una distribución uniforme de 3000 bytes, con una tasa promedio de llegada entre paquetes que sigue una distribución exponencial con media de 0.0076.

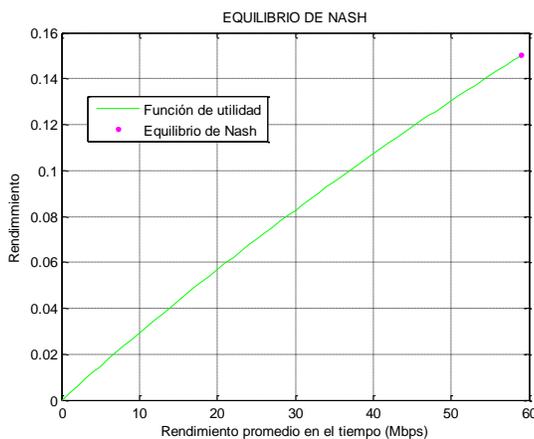


Fig. 2. Equilibrio de Nash del Juego.

Después de ejecutar el algoritmo de maximización se obtiene que el Equilibrio de Nash que es el punto máximo, representado por el punto de color rojo de la fig. 2, en este punto cada usuario maximiza su utilidad, en función del

rendimiento del sistema, se envían dos paquetes con diferentes tamaños, que para el caso de la simulación fueron: 260 bytes y 1060 bytes.

Para realizar el análisis de la matriz de utilidades descrita en la Tabla I, se tienen en cuenta las estrategias para cada usuario; dado que la función de utilidad planteada depende del rendimiento promedio en el tiempo de cada uno de los enlaces en la red, este rendimiento promedio (tasa de transferencia promedio) define la estrategia de cada usuario. Para el desarrollo del juego se tienen dos usuarios, cada uno transmite de acuerdo con la estrategia seleccionada (tasa de transferencia), donde se limita la suma de las dos tasas de transferencia a 54Mbps, la cual es la máxima tasa de transferencia soportada por el estándar IEEE 802.11g, de acuerdo a los servicios que los usuarios requieran la estrategia escogida va a satisfacer o no las necesidades de QoS de cada usuario.

De la Tabla I se obtiene que en los cuatro casos se converge a un mismo punto, dicho punto es el Equilibrio de Nash del sistema, punto en el que los usuarios maximizan su utilidad, e indica la tasa de transferencia de información que debe seleccionar cada usuario como su estrategia, de tal manera que se maximiza el rendimiento en la red, en este caso, la estrategia que debe seleccionar cada usuario, es transmitir a una tasa de 0.1503Mbps para alcanzar la calidad de servicio requerida, la cual no necesariamente cumple con las restricciones de retardo extremo a extremo, en la tabla II, se muestran algunos valores de tasa posibles, que garantizan equilibrio.

TABLA II  
RENDIMIENTO PARA VARIOS PUNTOS DE EQUILIBRIO

Posibles equilibrios	Rendimiento total (Mbps)
1	0.1496
2	0.1491
3	0.1502
4	0.1503

## VII. CONCLUSIONES

Después de llevar a cabo el desarrollo de esta investigación se resalta la importancia y la utilidad de teoría de juegos en el campo de las telecomunicaciones.

Mediante la obtención del equilibrio de Nash del modelo planteado, se garantizó el máximo rendimiento que puede obtener cada usuario, permitiendo así ejecutar las diferentes aplicaciones o servicios. Este concepto de solución se llevó a cabo mediante la aplicación de un algoritmo de maximización, se aclara que este concepto es egoísta y a cada jugador o usuario sólo le interesa obtener el máximo rendimiento en el sistema.

El algoritmo de maximización permitió encontrar el equilibrio de Nash del modelo planteado, se resalta que mediante esta solución se logra encontrar el punto en el que cada usuario alcanzará su mayor utilidad, mas no se cumple con las restricciones de retardo extremo a extremo establecidas por la ITU para las aplicaciones multimedia, tampoco se hace el mejor uso de los recursos para alcanzar la mayor utilidad, por lo tanto, se puede concluir que el equilibrio de Nash no es un concepto de equilibrio adecuado para trabajar problemas basados en garantizar condiciones mínimas de operación de la red.

### VIII. TRABAJOS FUTUROS

Con el desarrollo de esta investigación se resalta la aplicación de la teoría de juegos en la resolución de problemas que se presentan actualmente en el ámbito de las telecomunicaciones, por esta razón es importante continuar con el proceso llevando a cabo la unificación de los proyectos realizados anteriormente a este, como en el que se planteó una solución del juego bajo estrategias de potencia y el segundo que plantea una solución del juego bajo estrategias de ancho de banda, sumado este en el que se garantizan restricciones de retardo extremo a extremo, y así abarcar las problemáticas de la provisión de QoS en redes inalámbricas 802.11.

### REFERENCIAS

- [1] Pérez J., Jimeno J., y Cerdá T.,E., *Teoría de Juegos*. Madrid, España: Pearson Educación, 2004.
- [2] Dimitris E.,Charilas y Athanasios D. Panagopoulos, «A survey on game theory applications in wireless networks», 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128610002239>. [Accedido: 15-feb-2014].
- [3] Khodaian, A.M. y Khalaj, B.H., «Delay-constrained utility maximisation in multi-hop random access networks», *Communications, IET*, vol. 4, n.º 16, pp. 1908 - 1918, 2010.
- [4] I-Hong Hou y Kumar, P.R., «Utility Maximization for Delay Constrained QoS in Wireless», presentado en INFOCOM'10 Proceedings of the 29th conference on Information communications, San Diego, CA, 2010, pp. 1-9.
- [5] Meshkati, F., Poor, H.V., Schwartz, S.C., y Balan, R.V., «Energy-efficient power and rate control with QoS constraints: a game-theoretic approach», presentado en Proceedings of the International Conference on Wireless Communications and Mobile Computing, IWCMC 2006, Vancouver, British Columbia, Canada, 2006, pp. 1435-1440.
- [6] Meshkati, F., Poor, H.V., Schwartz, S.C., y Balan, R.V., «Energy-efficient resource allocation in wireless networks with quality-of-service constraints», *Commun. IEEE Trans. On*, vol. 57, n.º 11, pp. 3406 - 3414, 2009.
- [7] Trujillo Dávila, D. L., «Selección de Access Point en redes 802.11 garantizando mínima capacidad para QoS: "una perspectiva desde la teoría de juegos no cooperativos"», Trabajo final de pregrado, Programa de Ingeniería Electrónica - Universidad del Quindío, Armenia Quindío, 2012.
- [8] Londoño Cano, A., «Selección de Access Point en redes 802.11basado en restricciones de ancho de banda», Trabajo final de pregrado, Programa de Ingeniería electrónica - Universidad del Quindío, Armenia Quindío, 2013.
- [9] Lasaulce, S., Debbah, M., y Altman, E., «Methodologies for analyzing equilibria in wireless games», *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 26, n.º 5, p. 41|52, 2009.

- [10] Mittal, K., Belding, E., y Suri, S., «A Game-Theoretic Analysis of Wireless Access Point Selection by Mobile Users». 2000.
- [11] Perlaza, S.M., Belmega, E., Lasaulce, S., y Debbah, M., «On the base station selection and base station sharing in self-configuring networks», presentado en Proceedings of the Fourth International ICST Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, Paris, 2009, p. 71.
- [12] Eumednet, «Introducción a la teoría de juegos». Universidad de Málaga, 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.eumed.net/coursecon/juegos/index.htm>. [Accedido: 20-feb-2014].
- [13] Astaiza H., E., «Introducción a la teoría de juegos en comunicaciones inalámbricas», Universidad del Quindío, Armenia Quindío, Trabajo de ascenso de categoría, 2013.
- [14] Monderer, D. ; et al, «potential game», *Games and Economic Behavior*, vol. 14, n.º 44, pp. 124-143, 1996.
- [15] Neely, M.J., «Delay-Based Network Utility Maximization», presentado en Networking, IEEE/ACM Transactions on, San Diego, CA, 2013, vol. 21, pp. 41-54.
- [16] Rufasto, A., «Manual de teoría de juegos». Indecopi, 201d. C.



inalámbricas, sentido de espectro.

**Evelio, Astaiza Hoyos**, Ingeniero en Electrónica de la Universidad del Cauca (1998). Magíster en Ingeniería, área de Telecomunicaciones, Universidad del Cauca (2008). Actualmente candidato a Doctorado en ciencias de la Electrónica. Profesor Asociado en la Universidad del Quindío, programa de Ingeniería Electrónica, Investigador del grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad del Quindío – GITUQ. Áreas de interés: Comunicaciones



y propagación, modelado de tráfico de servicios telemáticos.

**Héctor Fabio, Bermúdez Orozco**, Ingeniero en Electrónica de la Universidad del Cauca (2000). Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca (2010). Actualmente estudiante de Doctorado en Ingeniería Telemática. Profesor Asociado en la Universidad del Quindío, programa de Ingeniería Electrónica, Coordinador del grupo de Investigación en Telecomunicaciones de la Universidad del Quindío – GITUQ. Áreas de interés: Comunicaciones inalámbricas, sistemas radiantes



Software, Ingeniería de procesos. Big Data.Cloud computing, Auditorías informáticas.

**Luis Freddy Muñoz Sanabria**, Ingeniero de Sistemas (2001). Magíster en Electrónica y Telecomunicaciones, Universidad del Cauca (2013). Actualmente estudiante de Doctorado en Ciencias de la Electrónica énfasis Computación. Docente Investigador Fundación Universitaria de Popayán, Director Escuela Desarrollo Profesional Coordinador del grupo de Investigación LOGICIEL de la Fundación Universitaria de Popayán. Áreas de interés: Ingeniería del

**Maria Fernanda Montero Molina**, Ingeniera Electrónica, Universidad del Quindío.