

CALIDAD DEL SERVICIO RESTRINGIDA EN CAPACIDAD PARA LA SELECCIÓN DE ACCESS POINT EN REDES INALÁMBRICAS 802.11

**SERVICE QUALITY RESTRICTED ABILITY TO ACCESS
POINT SELECTION IN 802.11 WIRELESS NETWORKS**



AUTOR

EVELIO ASTAIZA HOYOS
PhD(c) Ciencias de la Electrónica
Universidad del Cauca
MSc. Ingeniería, área de
telecomunicaciones, Universidad del Cauca
Profesor Asociado- Universidad del
Quindío. Investigador grupo GITUQ
eastaiza@uniquindio.edu.co
eastaizah@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

HÉCTOR F. BERMÚDEZ OROZCO
MSc. Electrónica y
Telecomunicaciones,
Universidad del Cauca
Profesor Asociado - Universidad del
Quindío. Investigador grupo GITUQ
hfbermudez@uniquindio.edu.co
hebermudez@unicauca.edu.co
COLOMBIA

AUTOR

LUIS FREDDY MUÑOZ S.
MSc. en Computación,
Universidad del Cauca
Profesor Titular - Fundación
Universitaria de Popayán
Investigador grupo LOGICIEL
lfreddyms@fup.edu.co
COLOMBIA

***INSTITUCIÓN**

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
UNIQUINDÍO
Institución pública
Carrera 15 Calle 12 Norte, Armenia,
Quindío
wbmaster@uniquindio.edu.co
COLOMBIA

***INSTITUCIÓN**

UNIVERSIDAD DEL QUINDÍO
UNIQUINDÍO
Institución pública
Carrera 15 Calle 12 Norte, Armenia,
Quindío
wbmaster@uniquindio.edu.co
COLOMBIA

***INSTITUCIÓN**

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA
DE POPAYÁN - FUP
Institución Privada
Sede Claustro San José Calle 5
8-58, Popayán, cauca
wbmaster@fup.edu.co
COLOMBIA

INFORMACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN O DEL PROYECTO: El proyecto titulado: "Algoritmos Para la Selección De Access Point En Redes 802.11 Basado en QoS: Un Estudio Restringido en Capacidad ", aprobado por la Vicerrectoría de investigaciones de la Universidad del Quindío, con código nro. 687 y presentado por el grupo de investigación GITUQ, tiene como objetivo general el de diseñar un conjunto de algoritmos que permitan realizar la selección del Access Point en redes 802.11 basado en calidad de servicio (QoS) en el nivel físico garantizando mínima capacidad desde la perspectiva de la teoría de juegos no cooperativos, algoritmos que pueden ser considerados para el estándar 802.11 af.

RECEPCIÓN: Julio 9 de 2014

ACEPTACIÓN: Noviembre 18 de 2014

TEMÁTICA: Redes inalámbricas

TIPO DE ARTÍCULO: Artículo de investigación científica y tecnológica

Forma de citar: Astaiza Hoyos, E., Bermúdez Orozco, H. F., & Muñoz, L. F. (2015). Calidad del servicio restringida en capacidad para la selección de access point en redes inalámbricas 802.11. En R, Llamosa Villalba (Ed.). Revista Gerencia Tecnológica Informática, 14(38), 85-95. ISSN 1657-8236.

RESUMEN ANALÍTICO

En este artículo, se presenta un algoritmo que garantiza la calidad del servicio basado en capacidad para la selección de un punto de acceso inalámbrico en una red 802.11. Este problema es modelado como un juego no cooperativo basado en restricciones de ancho de banda donde los jugadores son los usuarios quienes de forma egoísta se conectan al punto de acceso (AP) que le garantice la calidad de servicio desde la perspectiva exclusiva de la capacidad mínima requerida para desempeñar el servicio requerido en la red. Para ello, se introduce el concepto de solución conocido como Equilibrio de Satisfacción (ES) y posteriormente se propone un algoritmo desarrollado en Matlab® que permite al dispositivo de red determinar a cuál de los posibles AP disponibles debe conectarse, superando las tasas de transferencia requeridas para realizar sus tareas necesarias en la red y por consiguiente, garantizando calidad de servicio (QoS) desde la perspectiva de mínima capacidad requerida, mediante restricciones de ancho de banda.

PALABRAS CLAVES: Ancho de Banda, Equilibrio de satisfacción, Juegos no Cooperativos, QoS, Redes 802.11, Teoría de Juegos.

ANALYTICAL SUMMARY

In this article, an algorithm that guarantees the quality of service based on ability for the selection of a wireless access point in an 802.11 network is presented. This problem is modeled as a non-cooperative constraint-based bandwidth game where players are users who selfishly connect to the access point (AP) that guarantees the quality of service from the unique perspective of a high capacity required to perform the required services in the network. For this, the concept of solution known as Equilibrium Satisfaction (SE) is introduced and subsequently an algorithm developed in Matlab® that allows the network device determine which of the possible available APs to be connected is proposed, surpassing transfer rates required to perform their tasks required on the network and therefore guaranteeing Quality of Service (QoS) from the perspective of minimum required capacity, through bandwidth restrictions.

KEYWORDS: Bandwidth, Balance of satisfaction, not Cooperative Games, QoS, 802.11 Networks, Game Theory.

INTRODUCCIÓN.

Actualmente la utilidad de las redes inalámbricas ha generado una creciente demanda e implantación de las mismas en entornos corporativos y en el ámbito familiar ya que ofrecen un gran abanico de ventajas frente a las tradicionales redes cableadas, como facilidad de instalación, amplia cobertura, movilidad, ampliación sencilla, etc. Sin embargo estas ventajas conllevan una contrapartida, ya que la constante agregación de usuarios y aplicaciones impone un gran problema en cuanto a la provisión de la calidad de servicio por lo que es necesario mantener unos parámetros mínimos de calidad, que no se garantizan con los algoritmos actualmente implementados en la gestión de recursos radio en este tipo de redes [1], [2], [3], [4], [5]. Además es necesario tener presente que el problema de masificación de usuarios se debe en parte a la distribución no uniforme de los mismos en grandes

áreas y al mismo tiempo por la posición egoísta que asume cada usuario al momento de decidir a qué AP realizar su conexión, aquel AP más cercano o aquel del cual se percibe el mejor nivel de intensidad de señal, asumiendo que con ello se satisfacen los requerimientos con respecto a tasa de transferencia necesaria para desempeñar su tarea en la red.

El objetivo de este artículo es el de diseñar un algoritmo basado en el equilibrio de satisfacción que permite garantizar a todos los usuarios de la red una calidad de servicio que permita alcanzar la mínima capacidad requerida bajo restricciones de ancho de banda. En [6] se presenta un algoritmo basado en el equilibrio de satisfacción, pero que a diferencia del aquí presentado se ofrece un óptimo balance entre potencia de transmisión y tasa de transferencia de información y no de ancho de banda. Este trabajo entre otras cosas, constituye una innovación en los proyectos de aplicación de la teoría de

juegos, y una solución a un tipo de problemática que se presenta hoy en día en cualquier red 802.11.

La teoría de juegos ha sido utilizada para analizar una variedad de aplicaciones en comunicaciones inalámbricas como por ejemplo, para la provisión de calidad de servicio (QoS) en redes inalámbricas auto-configurables como en [7]. En [8] se introduce el principio de satisfacción que puede surgir como resultado de las experiencias de aprendizaje de los agentes individuales, se define el equilibrio de satisfacción y, a continuación se presentan los diferentes algoritmos que pueden utilizarse para llegar a él. Finalmente, se presentan los resultados experimentales y las pruebas teóricas que muestran el uso de estrategias de aprendizaje basadas en este equilibrio, donde cada agente es individualmente racional, en el sentido de que tratan de maximizar su propia utilidad. Por otra parte en [9] se modela la selección de un AP como un juego utilizando otro concepto de solución caracterizado por los equilibrios de Nash, en donde se analiza el impacto de las decisiones egoístas que toma cada usuario en búsqueda del AP que le ofrezca un equilibrio óptimo entre la carga y la distancia a ser recorrida. De forma similar en [10] y [11] se aplica el equilibrio de Nash modelando la interacción de varios dispositivos como jugadores racionales egoístas interesados en maximizar su propia eficiencia espectral con el objetivo de obtener conectividad inalámbrica mediante el uso de un conjunto de estaciones base (BS) en forma de un juego no cooperativo. Otras aplicaciones se describen en [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19].

1. TEORÍA DE JUEGOS

La teoría de juegos es la ciencia que estudia los juegos con el rigor necesario para resolverlos. Es un producto del siglo XX, con grandes contribuciones de John Von Neumann, quien descubrió una de las regularidades más importantes de los juegos, la solución de los juegos de suma cero con dos jugadores. La teoría de juegos se utiliza para resolver problemas de maximización y minimización, estudiando situaciones de conflicto y cooperación a las que se denomina juegos, analizando los comportamientos estratégicos de los jugadores que pueden darse mediante decisiones individuales (como en los juegos no cooperativos), o bien mediante acuerdos entre los participantes (como en los juegos cooperativos) [20], [21], [22], [23]. Para el estudio y entendimiento de la teoría de juegos se hace necesario el conocimiento de términos básicos como los que se presentan a continuación: [24]

- *Jugadores (J)*: Son los participantes en el juego que toman decisiones con el fin de maximizar su utilidad.
- *Acciones (A)*: Son las decisiones que puede tomar cada jugador cada que le corresponda jugar.
- *Resultado*: Modos en que puede concluir un juego.

- *Pagos (u)*: Utilidad que recibe un jugador al final del juego
- *Estrategia (S)*: Es un plan contingente, completo o regla de decisión para un jugador, qué especifica cómo actuará el jugador en cada circunstancia posible en que le corresponda mover.

2. EQUILIBRIO DE SATISFACCIÓN

La solución de un juego es la combinación de ganancias o pérdidas que da el juego con certidumbre a los jugadores. Existen conceptos de solución basados en argumentos de dominación o de equilibrio como lo es el Equilibrio de Satisfacción (SE) cuyo objetivo es satisfacer las mínimas necesidades de utilidad de los jugadores. Bajo la perspectiva del juego no cooperativo, se busca que cada usuario elija una estrategia que permita al jugador alcanzar el nivel de satisfacción deseado, por lo tanto, bajo este escenario, el jugador no está interesado en desviarse de la estrategia seleccionada. Este criterio puede expresarse representando la satisfacción de un jugador a partir de los límites establecidos mediante la función de utilidad, como se observa en la ecuación 1, es decir, sí se satisface el límite inferior superando dicho valor, la función de satisfacción retorna un 1, de lo contrario retorna 0:

$$S_i(r_i) = \begin{cases} 0 & \text{if } r_i < \sigma_i \\ 1 & \text{if } r_i > \sigma_i \end{cases} \quad (1)$$

Donde σ_i es el límite de satisfacción del jugador i .

El Equilibrio de Satisfacción representa cualquier estado de la red donde los usuarios satisfacen sus requerimientos. La idea de satisfacción es que un jugador está conforme con su decisión sí la acción jugada supera o es igual al umbral por lo tanto, este no cambiará de decisión a menos que tenga un mejor beneficio.

Definición 1 (Equilibrio de Satisfacción – SE): Un perfil de acciones s^+ es un ES para el juego $G = \{k, \{s_k\}_{k \in K}, \{U_k\}_{k \in K}, \{f_k\}_{k \in K}\}$ si $\forall k \in K, s_k^+ \in f_{-k}(s_{-k}^+)$, donde $f_{-k}(s_{-k}^+)$ está definida como:

$$f_k(s_{-k}) = \{s_k \in S_k : u_k(s_k, s_{-k}) \geq \Gamma_k\} \quad (2)$$

Donde Γ_k es la capacidad umbral requerida por cada usuario k [16]. Entonces,

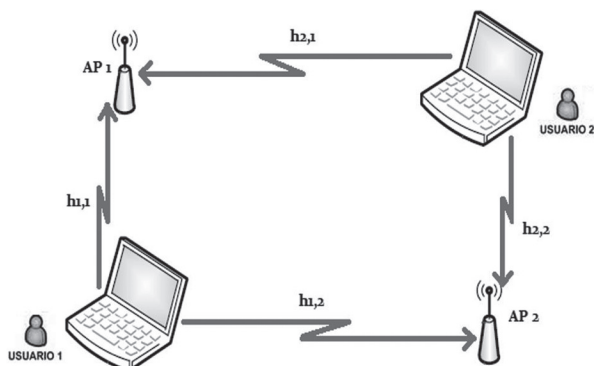
$$S_{ES} \triangleq \{s \in S : \forall k \in K, s_k \in f_k(s_{-k})\} \subseteq S \quad (3)$$

3. MODELO DEL SISTEMA

En este trabajo se modela el problema planteado como un juego no cooperativo en donde cada jugador se asume es racional y toma una posición egoísta buscando satisfacer sus necesidades mediante las

estrategias que tenga para jugar, y es estático porque las decisiones se toman simultáneamente. La figura 1 representa el modelo de juego basado en la estructura de una red inalámbrica de 2x2, es decir, 2 AP y 2 usuarios, el cual es extensible a un escenario $n \times n$ ya que comparte las mismas características, en el cual la solución y el tratamiento que se le haga a este tipo de red son extensibles a un juego de múltiples elementos participantes en el juego, de acuerdo a que en el caso más general, que es aquel en el cual el modelo del canal corresponde al canal interferente, donde la función de utilidad corresponde a la ecuación de capacidad del canal, la cual es una región no vacía [25], compacta y convexa, luego los resultados obtenidos en un escenario 2x2 o $i \times k$, satisfacen la proposición de existencia del equilibrio de Nash y del equilibrio de satisfacción.

FIGURA 1. Modelo del juego basado en la estructura de una red inalámbrica.



Fuente: Autores

El juego es denotado por:

$$G = \{(i=1,2,\dots,n); B_{0,k}, B_{1,k}, \dots, B_{i,k}; U_k(B_k, B_{-k})\} \quad (4)$$

Donde i es el número de jugadores o usuarios de la red, $B_{i,k}$ el ancho de banda del canal(es) que equivale a cada una de las posibles estrategias que tiene disponible cada jugador y U_k como función de utilidad con la que el jugador obtendrá los pagos de acuerdo a sus decisiones tomadas.

La comunicación inalámbrica entre los usuarios del juego planteado está regida por el estándar 802.11 g [26] el cual ofrece un ancho de banda elevado en el rango de frecuencia de 2,4 GHz con modulación OFDM [27]. Esta banda de frecuencias comprende 11 canales disponibles que no son completamente independientes, un canal se superpone y produce interferencias hasta un canal a 4 canales de distancia. Por tal motivo con el fin de evitar las interferencias causadas por el solapamiento se definen las estrategias del juego como el ancho de banda disponible en el mejor de los casos por los tres canales

1, 6 y 11 los cuales se encuentra lo suficientemente separados para no presentar interferencia entre sí. Aclarando que el jugador puede elegir como estrategias 1 (20MHz), 2 (40MHz) o 3 (60MHz) canales. Entonces, el perfil de estrategia del juego para un usuario es el vector:

$$b = (b_1, b_2, b_3) \in B \quad (5)$$

Para seleccionar una función matemática que permita modelar el comportamiento de las tasas de acuerdo con las características del canal, es necesario que esta relacione conceptos como capacidad, ancho de banda, potencia y ruido. Por tal motivo, en este trabajo, se define la función de utilidad para todos los jugadores como su eficiencia espectral, es decir, la relación entre su velocidad de transmisión de Shannon y el ancho de banda disponible B:

$$u_i(B_i, B_{-i}) = \sum_{k \in K} \frac{B_k}{B} \log_2 \left(1 + \frac{P g_{j,k}}{\sigma^2} \right) \quad (6)$$

Entre las variables que conforman la ecuación de capacidad de Shannon se encuentra la potencia. La máxima potencia que puede manejar el receptor, se asume como un número entero de veces la potencia máxima de transmisión de un terminal de usuario, para el escenario puntual a trabajar, y sin perder generalidad se considera por simplicidad que ese número entero es 1 y que la potencia de entrada máxima ($P_{i_{max}}$) del AP es igual a la potencia emitida por una tarjeta de red inalámbrica de un computador portátil cercana a los 32 mW.

Por otra parte se tiene la ganancia $g_{j,k}$ que en un canal de comunicaciones generalmente representa las pérdidas por propagación de la señal, por esta razón toma valores inferiores a la unidad y por lo tanto no funciona como una ganancia sino como una atenuación de la señal causada por dicho fenómeno. Para obtener los valores de ganancia se hace uso de la función "rand" de Matlab, con la cual se generan números aleatorios con media 0 y varianza 1 uniformemente distribuidos. Y finalmente, el ruido σ^2 se toma de 0,1.

4. METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL JUEGO

Para la solución del juego que describe el problema planteado se siguen las etapas propuestas a continuación:

- Existencia del o los Equilibrios de Satisfacción (SE).
- Elaboración de la matriz de utilidades
- Obtención de la región de capacidad.
- Solución del juego mediante el o los SE hallados.

4.1 EXISTENCIA DEL EQUILIBRIO DE SATISFACCIÓN - ES

Previo a la búsqueda de los puntos o regiones de satisfacción que constituyen la solución del juego es necesario probar si efectivamente dichos puntos de equilibrios existen. Para esto, se cuentan con distintos teoremas con los cuales se puede comprobar o no tal existencia, e incluso la referencia [24] plantea una metodología estructurada para la determinación de la misma, indicando que teoremas aplicar según el tipo de juego con que se esté trabajando. El teorema 1 ha sido aplicados para demostrar efectivamente la existencia del ES y ha sido demostrado en [7], [9], [17], [19], [24] y [28].

La existencia de un ES en el juego $G = \{k, \{s_k\}_{k \in K}, \{U_k\}_{k \in K}, \{f_k\}_{k \in K}\}$ depende principalmente de los umbrales determinados por la función de utilidad. Por ejemplo, sea la correspondencia $F: S \rightarrow 2^S$ la cual se define como $F(S) = (f_1(s_{-k}), f_2(s_{-k}), \dots, f_k(s_{-k}))$, por lo tanto un equilibrio de satisfacción existe si y solo si

$$\exists s \in S : s \in F(s) \tag{7}$$

Esta formulación permite utilizar los teoremas existentes de punto fijo para proporcionar condiciones necesarias y suficientes para la existencia del equilibrio de satisfacción, por ejemplo, del teorema de punto fijo de Kakutani [19] puede escribirse el siguiente teorema.

Teorema 1. Existencia del equilibrio de satisfacción (ES). En el juego sea el conjunto de acciones S un conjunto no vacío, convexo y compacto, y sea la correspondencia F(s) la cual presenta un grafo cerrado, no vacío y convexo sobre el conjunto de acciones . Entonces, el juego G 'tiene al menos un ES.

TABLA 1. Matriz de utilidades de los jugadores.

		USUARIO 2	
		AP 1	AP 2
USUARIO 1	AP 1	$U_{11}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{11}}{\sigma^2} \right)$	$U_{11}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{11}}{\sigma^2} \right)$
		$U_{21}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{21}}{\sigma^2} \right)$	$U_{22}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{22}}{\sigma^2} \right)$
	AP 2	$U_{12}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{12}}{\sigma^2} \right)$	$U_{12}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{12}}{\sigma^2} \right)$
		$U_{21}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{21}}{\sigma^2} \right)$	$U_{22}^s = \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{22}}{\sigma^2} \right)$

Es de tener en cuenta que en la proposición anterior no se imponen condiciones (por ejemplo, la continuidad) sobre las funciones de utilidad $\{U_k\}_{k \in K}$, para garantizar la existencia de la SE. En efecto, desde la definición 1, se puede entender que una condición necesaria y suficiente para la existencia de una SE es la viabilidad de las restricciones, es decir, la existencia de al menos un perfil de acción que satisface simultáneamente todas las restricciones.

4.2 ELABORACIÓN DE LA MATRIZ DE UTILIDADES

Para la solución de juegos con dos jugadores conocidos como juegos bipersonales se utiliza el análisis matricial que define una "Matriz de Pagos" para la representación de las situaciones que pueden ser generadas por las alternativas de decisión y acción de dos jugadores. De este modo cada intersección o combinación de la alternativa elegida por un jugador y la alternativa elegida por otro crea un punto de coordenadas que posee un valor, y se convierte en un premio para cada jugador o en un castigo si el premio tiene valor negativo. La matriz de utilidad general para el juego aquí planteado se muestra a continuación y depende básicamente de la estrategia Bs que el jugador elija:

La capacidad (tasa de transferencia de información) para cada jugador es denotada como C_{jk}^s , donde $j =$ jugador, $k =$ punto de acceso y $s =$ estrategia. La capacidad C_{jk}^s a su vez se obtiene como el producto $C_{jk}^s = U_{jk}^s B$ donde U_{jk}^s denota la utilidad obtenida por el jugador j al conectarse al AP k con una estrategia de ancho de banda s , y B es el ancho de banda total del sistema, para este caso 60MHz.

4.3 OBTENCIÓN DE LA REGIÓN DE CAPACIDAD.

Para establecer los límites de la región de capacidad que a su vez conforma la región de satisfacción de los usuarios se aplica la dinámica de mejor respuesta formulando las siguientes inecuaciones a partir de la matriz de utilidad:

$$BR_1(AP_1) = \begin{cases} AP_1 \text{ sí } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{11}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{12}}{\sigma^2} \right) \\ AP_2 \text{ sí } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{12}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{11}}{\sigma^2} \right) \end{cases}$$

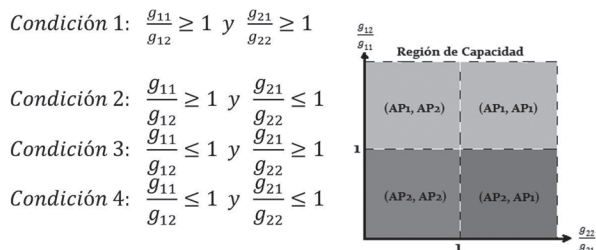
$$BR_1(AP_2) = \begin{cases} AP_1 \text{ sí } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{11}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{12}}{\sigma^2} \right) \\ AP_2 \text{ sí } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{12}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{11}}{\sigma^2} \right) \end{cases}$$

$$BR_2(AP_1) = \begin{cases} AP_1 \text{ sí } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{21}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{22}}{\sigma^2} \right) \\ AP_2 \text{ sí } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{22}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{21}}{\sigma^2} \right) \end{cases}$$

$$BR_2(AP_2) = \begin{cases} AP_1 \text{ si } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{21}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{22}}{\sigma^2} \right) \\ AP_2 \text{ si } \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{22}}{\sigma^2} \right) \geq \frac{B_s}{B} \log_2 \left(1 + \frac{Pg_{21}}{\sigma^2} \right) \end{cases}$$

Las regiones de capacidad de acuerdo al usuario y al Access Point que este elija son:

FIGURA 2. Región de capacidades



Del análisis realizado de la dinámica de mejor respuesta se obtienen resultados dependientes de los valores de ganancia que posea el AP que elija el jugador en cada instante de tiempo, lo cual determina la zona de dicha región en la que se encuentre las utilidades del jugador. La región de capacidades obtenida para las tres estrategias disponibles para el jugador es la misma.

5. RESULTADOS

Una vez que se ha obtenido la región de capacidad para cada uno de los escenarios y se han definido cada una de las variables, se procede a la realización del algoritmo que permite la selección del Access Point garantizando al usuario la mínima capacidad para una calidad de servicio que satisfaga sus tareas necesarias en la red de acuerdo a las estrategias de ancho de banda que tiene para jugar.

Los casos que pueden presentarse dentro de cada entorno, para los cuales se realiza un algoritmo y un análisis de resultados son:

- Entorno 1. Región de capacidad por usuario
- Entorno 2. Región de capacidad para ambos usuarios.
- Equilibrio de Satisfacción: Región de capacidad total para J1 y J2 cuando eligen S1, S2 y S3.

5.1 ENTORNO 1. REGIÓN DE CAPACIDAD POR USUARIO

En este entorno pueden presentarse los siguientes casos:

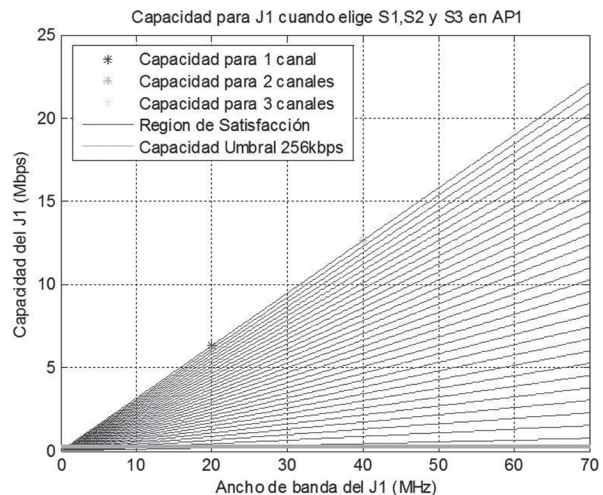
- CASO 1. RC para J1 cuando elige S1, S2 y S3 en AP1.
- CASO 2. RC para J1 cuando elige S1, S2 y S3 en AP2.

- CASO 3. RC para J2 cuando elige S1, S2 y S3 en AP1.
- CASO 4. RC para J2 cuando elige S1, S2 y S3 en AP2.

Cada una de las regiones de capacidad (RC) varía de acuerdo a la ganancia que presente el canal en un instante de tiempo. A continuación, se muestra los resultados de los casos 1 y 3 ya que en 2 y 4 se observa el mismo comportamiento variante de acuerdo a la ganancia del AP elegido por el usuario.

En el caso 1 se simula la capacidad para el jugador 1 cuando elige el AP 1 y para cada una de las tres estrategias. La capacidad umbral que debe superar los ES para satisfacer las tasas de transferencia requerida por las aplicaciones del usuario han sido elegidos de 256 kbps (línea horizontal gris) lo cual corresponde a la tasa de transferencia requerida para realizar una videollamada. La ganancia elegida de forma aleatoria es de $g_{11} = 0,7655$, la potencia máxima como se estableció anteriormente de 32 [mW] y el ruido de 0,1 [mW].

FIGURA 3. Capacidad para J1 en AP1



Fuente: Autores

CASO 1: En la Figura 3, la región de líneas continuas negras corresponde a la región de capacidades que satisfacen el umbral mínimo necesario para desempeñar la actividad requerida por el usuario. De acuerdo a la ecuación de capacidad de Shannon, los valores de capacidad obtenidos para el usuario 1 (j) en el Access Point 1 (k) para cada estrategia (s) (asteriscos en la gráfica) son mostradas en la Tabla 2.

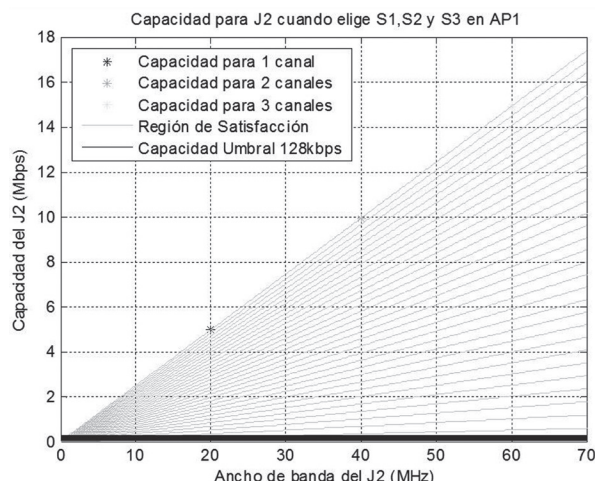
CASO 2: Ahora se simula la capacidad para el jugador 2 cuando elige el AP 1 y para cada una de las tres estrategias. La capacidad umbral que deben superar las utilidades es de 128kbps (línea horizontal gris) lo cual

corresponde a una actividad de llamada. La ganancia elegida arbitrariamente es $g_{21} = 0,5873$.

TABLA 2. Capacidad para J1-AP1 cuando elige S1, S2 y S3

J1	Estrategia 1 (20MHz)	Estrategia 2 (40MHz)	Estrategia 3 (60MHz)
AP1	$C_{11}^1 = 6.3220$ Mbps	$C_{11}^2 = 12.6440$ Mbps	$C_{11}^3 = 18.9660$ Mbps

FIGURA 4. Capacidad para J2 en AP1



Fuente: Autores

En la Figura 4, la región de líneas continuas grises corresponde a la región de capacidades que satisfacen el umbral mínimo necesario para desempeñar la actividad requerida por el usuario. De acuerdo a la ecuación de capacidad de Shannon, los valores de capacidad (asteriscos) obtenidos para el usuario 2 (j) en el Access Point 1 (k) para cada estrategia (s) son mostradas en la Tabla 3.

TABLA 3. Capacidad para J2-AP1 cuando elige S1, S2 y S3

J2	Estrategia 1 (20MHz)	Estrategia 2 (40MHz)	Estrategia 3 (60MHz)
AP1	$C_{21}^1 = 4.9691$ Mbps	$C_{21}^2 = 9.9383$ Mbps	$C_{21}^3 = 14.9074$ Mbps

En el entorno 1 se observa que las capacidades obtenidas varían dependiendo tanto de la estrategia elegida por el jugador como de la ganancia que presente el AP en el momento de la elección. Estas dos variables son directamente proporcionales a la capacidad establecida por la ecuación de Shannon, y de este modo a mayor ganancia y mayor ancho de banda, mayor capacidad.

En los casos del siguiente entorno se grafica simultáneamente las utilidades de los dos jugadores cuando eligen el mismo o diferente AP.

5.2 ENTORNO 2. REGIÓN DE CAPACIDAD PARA AMBOS USUARIOS

Dependiendo del AP seleccionado por cada uno de los jugadores y de la Región de Capacidad – RC en donde se ubican dichos jugadores, se presentan diferentes casos de análisis, los cuales son:

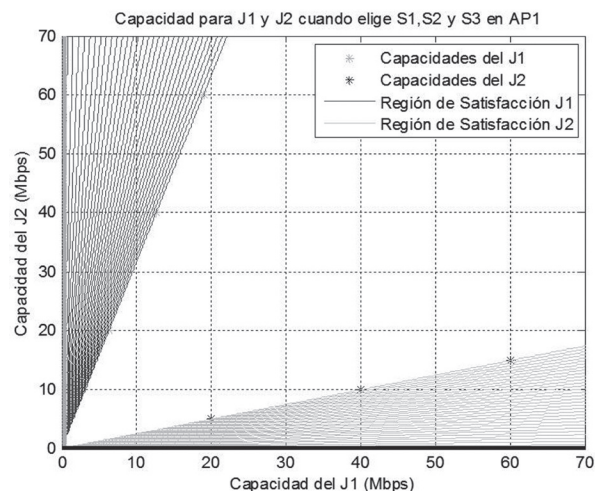
- CASO 3. RC para J1AP1 y J2AP1 cuando elige S1, S2 y S3.
- CASO 4. RC para J1AP2 y J2AP2 cuando elige S1, S2 y S3.
- CASO 5. RC para J1AP1 y J2AP2 cuando elige S1, S2 y S3.
- CASO 6. RC para J1AP2 y J2AP1 cuando elige S1, S2 y S3.

A continuación se presentan dos casos en donde se elige primero el mismo AP y otro en donde los jugadores eligen diferente AP.

CASO 3: La capacidad umbral para el jugador 1 es de 256 kbps necesarios para realizar una videollamada y su ganancia de canal es $g_{11}=0.7655$. Para el jugador 2, su capacidad umbral es de 128 kbps requeridos para realizar una llamada, y aunque ha elegido el AP1 al igual que J1 la ganancia del canal en su instante de tiempo es de $g_{21}=0.5873$ diferente por tratarse de un canal variante en el tiempo.

Para los casos 3 y 5, se muestra en las Figuras 5 y 6 las utilidades del usuario o jugador 1 contra las del jugador 2, con el fin de hacer una comparación entre las utilidades o pagos obtenidos por cada jugador para cada una de las estrategias posibles en diferentes o igual AP.

FIGURA 5. Capacidad para J1 y J2 en AP1



Fuente: Autores

Las capacidades o pagos obtenidos para cada una de las estrategias elegidas por cada jugador se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4. Capacidad para J1-AP1 y J2-AP1 cuando elige S1, S2 y S3.

		Estrategia 1 (20MHz)	Estrategia 2 (40MHz)	Estrategia 3 (60MHz)
J1	AP1	$C_{11}^1 = 6.3220$ Mbps	$C_{11}^2 = 12.6440$ Mbps	$C_{11}^3 = 18.9660$ Mbps
J2	AP1	$C_{21}^1 = 4.9691$ Mbps	$C_{21}^2 = 9.9383$ Mbps	$C_{21}^3 = 14.9074$ Mbps

CASO 5: Ahora se simulan los resultados de capacidades para ambos jugadores cuando eligen Access Point diferentes.

La capacidad umbral para ambos jugadores son las mismas que en el caso anterior. La ganancia de canal de jugador 1 es $g_{11}=0.7655$, y $g_{22}=0.8491$ para el jugador 2. La Tabla 5 muestra las capacidades obtenidas para las diferentes estrategias.

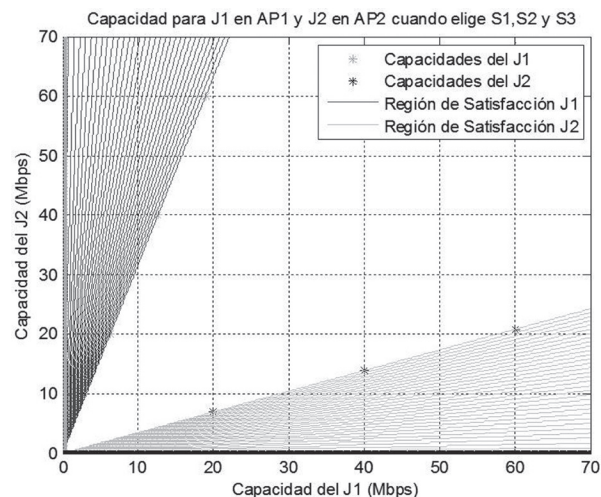
En los casos 3 y 5, se puede evidenciar de nuevo como aumenta el pago de los jugadores cuando eligen AP con mayor ganancia, igual situación sucede para los casos 4 y 6. La región de capacidad de J1 es mayor a la de J2 cuando la ganancia del AP que eligió es mayor a la ganancia del AP elegido por J2. Sin embargo en todos los casos las tasas o capacidades umbrales son superadas.

TABLA 5. Capacidad para J1-AP1 y J2-AP2 cuando elige S1, S2 y S3.

		Estrategia 1 (20MHz)	Estrategia 2 (40MHz)	Estrategia 3 (60MHz)
J1	AP1	$C_{11}^1 = 6.3220$ Mbps	$C_{11}^2 = 12.6440$ Mbps	$C_{11}^3 = 18.9660$ Mbps
J2	AP1	$C_{21}^1 = 6.9354$ Mps	$C_{21}^2 = 13.8709$ Mbps	$C_{21}^3 = 20.8063$ Mbps

Después de analizar cada uno de los casos posibles y realizar una comparación de capacidades entre los dos jugadores según su estrategia, se aplica el concepto de solución propuesto para simular los ES, los cuales constituyen las soluciones del juego.

FIGURA 6. Capacidad para J1 en AP1 y J2 en AP2



Fuente: Autores

5.3 SOLUCIÓN DEL JUEGO: EQUILIBRIO DE SATISFACCIÓN (ES).

En el concepto de solución conocido como Equilibrio de Satisfacción (ES), el objetivo principal de cada jugador es satisfacer sus necesidades superando las tasas de transferencia requeridas para realizar cualquier tarea en la red, pudiendo elegir la estrategia que mejor le convenga a cada usuario de acuerdo a las obtenidas en la región de satisfacción.

Para obtener la región de equilibrios de satisfacción se realizó una comparación de cada una de las capacidades obtenidas en la región total, para determinar dentro de esta región cuales satisfacían y eran superiores a la capacidad umbral. Para este caso en particular, las capacidades umbrales se establecieron en 256kbps para el usuario 1 y 128kbps para el usuario 2, determinadas de acuerdo a las actividades que mayor tasa de transferencia de información requieren para ser desempeñadas en la red, como lo es realizar una videollamada, descarga de video o llamada.

El *algoritmo 2* implementa el principio de satisfacción de una forma sencilla; si el jugador se encuentra satisfecho (se satisface el umbral definido) mantiene la estrategia actual, en caso de no satisfacerse el umbral definido, se selecciona de forma aleatoria una estrategia del conjunto de estrategias, con la cual se reemplaza la estrategia actual.

Algoritmo 2 SE: Equilibrio Satisfacción**Función SE (Umbral, n)** $S_i \leftarrow \text{SeleccionarEstrategia}$ **Para** $i=1$ hasta n

Juegue y observe resultado

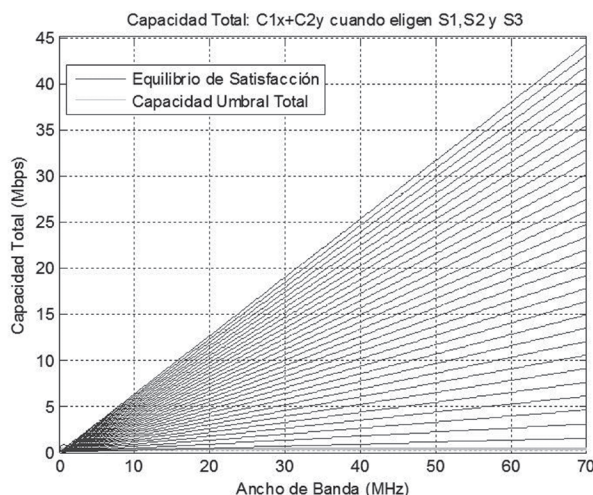
Si $u_i < \text{Umbral}$ **luego** $S_i \leftarrow$

SeleccionarEstrategia

Fin si**Fin para****Retornar** S_i

En este caso siempre se estará buscando una estrategia cuando la utilidad sea menor al umbral requerido, y de esta manera una vez todos los jugadores se encuentran satisfechos, no existirá agente alguno que desee cambiar de estrategia, dado que se ha alcanzado la condición de equilibrio.

En este concepto de solución, los equilibrios de satisfacción, constituyen toda la zona de líneas continuas negras que supera la línea horizontal de color gris, como se puede observar en la Figura 7. Por lo tanto para lograr un equilibrio de satisfacción es evidente que se puede elegir cualquiera de las tres estrategias posibles, o s1 (20MHz), o s2 (40MHz), o s3 (60MHz).

FIGURA 7. Equilibrios de Satisfacción**Fuente:** Autores**6. CONCLUSIONES.**

En este artículo se presenta los resultados de un algoritmo diseñado para modelar la solución al problema de selección de Access Point en redes inalámbricas 802.11, buscando satisfacer las capacidades umbrales requeridas por las actividades en la red que cada usuario desee desempeñar. Utilizando el concepto de solución llamado Equilibrio de Satisfacción se concluye que cualquier

estrategia que el jugador elija garantiza la superación de las tasas mínimas requeridas para cualquier servicio solicitado por el usuario en un escenario 2X2, lo cual no necesariamente se puede garantizar en escenarios mayores. Los equilibrios de satisfacción corresponden a las capacidades y ancho de banda para los cuales cada uno de los usuarios garantiza alcanzar por lo menos la mínima tasa de transferencia de información para QoS.

La Teoría de Juegos es un campo en investigación y de muy reciente aplicación en las comunicaciones inalámbricas. Este proyecto representa una innovación primero por aplicarse como solución la teoría de juegos a una problemática común en las redes 802.11, y segundo porque constituye un gran aporte al funcionamiento del aún, en proceso de desarrollo, estándar 802.11af.

7. TRABAJOS FUTUROS

La selección de AP en redes 802.11 es una problemática a la cual se enfrenta actualmente la tecnología Wi-Fi debido a la masificación de usuarios. Por tanto son numerosos los trabajos en búsqueda de métodos de solución efectivos para este problema que pueden ser abordados incluso desde la perspectiva de la Teoría de Juegos. Como trabajo futuro se espera la realización de un algoritmo que aborde esta misma problemática desde la perspectiva de otros conceptos de solución como por ejemplo, el Equilibrio de Nash y el Equilibrio de Satisfacción Eficiente. Otros trabajos pueden enfocarse en otras restricciones que se presentan a la hora de proporcionar calidad de servicio como los son restricciones en retardo de paquetes y en variación del retardo, aparte de las restricciones de ancho de banda y de potencia abordadas en el trabajo del grupo de investigación GITUQ de la Universidad del Quindío.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- [1] SEN, S., ARUNACHALAM, K., WERNIK, basu y M., A QoS management framework for 3G wireless networks, En: WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE. New Orleans, LA, 1999.
- [2] GUO, M., JIANG, S., GUAN, Q. y MAO, H. Provisioning of QoS adaptability in wired-wireless integrated networks. Communications and Networks, vol. 15, n° 1, pp. 61 - 70, 2013.
- [3] KONDO, T., YOKOYAMA, A. y MAEDA, K., An implementation and evaluation of a selective QoS-aware mobile multicasting on multiple wireless networks, En: Mobile Computing and Ubiquitous Networking (ICMU), 2014 Seventh International Conference on, Singapore, 2014.

- [4] MISHRA, M. y SAHOO, A., An 802.11 Based MAC Protocol for Providing QoS to Real Time Applications, En: Information Technology, (ICIT 2007). 10th International Conference on, Orissa, 2007.
- [5] SHOREY, R., ANANDA, A., CHAN, M. y OOI, W., QoS Provisioning in IEEE 802.11 WLAN, New York: Wiley-IEEE Press, 2005.
- [6] ASTAIZA, E., BERMÚDEZ, H. F. y TRUJILLO, D. L. Selección de access point en redes inalámbricas 802.11 garantizando mínima QoS. Ingeniería y Ciencia, vol. 10, n° 20, pp. 115-137, 2014.
- [7] PERLAZA, S., TEMBINE, H., LASAULCE, S. y DEBBAH, M. Satisfaction Equilibrium: A General Framework for QoS Provisioning in Self-Configuring Networks. En: IEEE GLOBAL COMMUNICATIONS CONFERENCE (GLOBECOM). Miami, 2010.
- [8] ROSS, S. y CHAIB-DRAA, B. Learning to Play a Satisfaction Equilibrium. En Computer Science Department. PLT Bdg, Laval University, Quebec, PQ, Canada, 2010.
- [9] MITTAL, K., BELDING, E. M. y SURI, S. A game-theoretic analysis of wireless access point selection by mobile users. En Computer Communications, vol. 31, n° 10, p. 2049-2062, 2008.
- [10] JIANG, L., PAREKH, S. y WALRAND, J. Base Station Association Game in Multi-Cell Wireless Networks. En: WIRELESS COMMUNICATIONS AND NETWORKING CONFERENCE 2008. WCNC 2008. IEEE, Las Vegas, NV, 2008.
- [11] PERLAZA, S. M., BELMEGA, E.V., LASAULCE, S. y DEBBAH, M. On the Base Station Selection and Base Station Sharing in Self-Configuring Networks. En: FOURTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERFORMANCE EVALUATION METHODOLOGIES AND TOOLS, Pisa, Italy, Oct. 2009.
- [12] LI-HSING, Y., JIA-JUN, L. y CHE-MING, L. Stability and Fairness of Native AP Selection Games in IEEE 802.11 Access Networks. En: WIRELESS AND OPTICAL COMMUNICATIONS NETWORKS (WOCN), 2010 SEVENTH INTERNATIONAL CONFERENCE, Colombo, 2010.
- [13] LIN, G., XINBING, W., GAOFEI, S. y YOUYUN, X. A Game Approach for Cell Selection and Resource Allocation in Heterogeneous Wireless Networks. En: SENSOR, MESH AND AD HOC COMMUNICATIONS AND NETWORKS (SECON), 2011 8TH ANNUAL IEEE COMMUNICATIONS SOCIETY CONFERENCE. Salt Lake City, UT, June 2011.
- [14] ELIAS, J., MARTIGNON, F. y ALTMAN, E. Joint Pricing and Cognitive Radio Network Selection: a Game Theoretical Approach. En: MODELING AND OPTIMIZATION IN MOBILE, AD HOC AND WIRELESS NETWORKS (WIOPT), 2012 10TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM. Paderborn, Germany, May 2012.
- [15] 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. Armenia Quindío, 2012, 110 p. Trabajo de grado (Ingeniero Electrónico). Universidad del Quindío. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Electrónica. Grupo de Investigación GITUQ.
- [16] OZDAGLAR, A. y MENACHE, I. Network Games. Theory, Models, and Dynamics. vol. 1, Morgan & Claypool, 2011.
- [17] MONDERER, D. y SHAPLEY, L. S. Potential Games. Games and Economic Behavior, vol. 14, n° 44, pp. 124-143, 1996.
- [18] AMZALLAG, D., BAR-YEHUDA, R., RAZ, D. y SCALOSUB, G. Cell Selection In 4G Cellular Networks, En: MOBILE COMPUTING, IEEE TRANSACTIONS, vol. 12, n° 7, pp. 1443 - 1455, 2013.
- [19] MERTIKOPOULOS, P., BELMEGA, E., MOUSTAKAS, E. y LASAULCE, S. Distributed Learning Policies For Power Allocation In Multiple Access Channels. Selected Areas In Communications, IEEE Journal, vol. 30, n° 1, pp. 96 - 106, 2012.
- [20] AHOUREI, F., TABANDEH, M., JAHED, M. y AFSARI, B. A Fair Routing Algorithm for Wireless Mesh Networks Based on Game Theory, En: ICN'09 EIGHTH INTERNATIONAL CONFERENCE, Gosier, Guadeloupe, 2009.
- [21] DASILVA, L., BOGUCA, H. y MACKENZIE, A. Game theory in wireless networks, Communications Magazine, vol. 49, n° 8, pp. 110- 111, 2011.
- [22] FU, L., LIU, D., HE, Y., CUI, G., LIANG, H. y WANG, W. Cooperation Strategies by Cournot Game for Partner Selection and Power Control in S-UMTS, En: Computer and Information Technology (CIT), 2014 IEEE International Conference, Xi'an, 2014.
- [23] ASTAIZA, E. Introducción A La Teoría De Juegos En Comunicaciones Inalámbricas. Armenia Quindío, 2013. 89 p. Trabajo de ascenso a categoría de

- profesor asociado. Universidad del Quindío. Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Electrónica.
- [24] LASAULCE, S. DEBBAH, M. y ALTMAN, E. Methodologies for Analyzing Equilibria in Wireless Games. Signal Processing Magazine, IEEE , vol. 26, nº 5, pp. 41 - 52, 2009.
- [25] COVER, T. y THOMAS, J. Elements of Information Theory, Second ed., Wiley, 2006.
- [26] IEEE 802.11: WIRELESS LOCAL AREA NETWORKS. The Working Group for WLAN Standards, IEEE.
- [27] YANG, S. C. OFDMA System Analysis And Design, Boston, Artech House, 2010, pp. 318.
- [28] PÉREZ, J., JIMENO PASTOR, J. L. y CERDÁ TENA, E. Teoría de Juegos, Cap 3. Teoremas de Existencia del Equilibrio de Nash, Madrid, España: Pearson, 2004, pp. 170-175.