

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

Simulations of acceptance auction for the allocation of radio spectrum of the 600 MHz band.

Angélica Gutiérrez Guerrero^{*}
Damián Emilio Gibaja Romero[†]
María Catalina Ovando Chico[‡]

Resumen

Desde 1989, las subastas han sido el mecanismo más utilizado para asignar espectro radioeléctrico; sin embargo, se han presentado escenarios que han permitido que este mecanismo de asignación no sea tan eficiente, tales como: no establecer de precios límite, colisión entre los participantes y riesgos de exposición, haciendo ineficiente la distribución en el espectro. Por su parte, la subasta de aceptación diferida permite preservar la privacidad de los ganadores, incorporar restricciones presupuestarias, permitiendo resultados más eficientes en la asignación. Por lo tanto, el siguiente artículo tiene como objetivo, analizar dos escenarios de asignación de espectro utilizando el algoritmo de aceptación diferida, para la banda de 600 Mhz. Para el desarrollo de la simulación de la subasta, se utilizó como herramienta el lenguaje de programación R y se consideraron datos de OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) para la estimación de los precios. Finalmente, los resultados comprueban las características de la subasta y la tendencia sobre el comportamiento de los participantes. Se muestra que la subasta de aceptación diferida permite asignar el espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz a los participantes que le dan más valor y que tengan la firme de decisión de participar hasta el final de la misma.

^{*} Estudiante de Doctorado en Planeación Estratégica y Dirección de la Tecnología, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP). Email: angelica.gutierrez@upaep.edu.mx

[†] Director Académico, Departamento de Matemáticas, Escuela de Graduados de Ingeniería, Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla. Email: damianemilio.gibaja@upaep.mx

[‡] Centro Interdisciplinario de Estudios de Posgrado e Investigación, Centro de Investigación en Estrategia, Tecnología y Sociedad, Universidad UPAEP. Email: mariacatalina.ovando@upaep.mx

Palabras Clave: espectro radioeléctrico, subasta de aceptación diferida, mecanismos de asignación.

Abstract

Since 1989, auctions have been the most used mechanism to allocate radio spectrum; however, there are scenarios that have allowed this allocation mechanism not to be as efficient as expected, such as not setting limit prices, collision between participants and exposure risks, making spectrum distribution inefficient. On the other hand, the auction of deferred acceptance allows preserving the privacy of the winners, to incorporate budgetary restrictions, allowing results that are more efficient in the allocation. Therefore, the main objective of this article is analyze two spectrum allocation scenarios using the deferred acceptance algorithm, for the 600 MHz band. For the development of the simulation of the auction, the programming language R was used as a tool and data from the OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos, by its acronym in Spanish) were considered for price estimation. Finally, the results verify the characteristics of the auction and the trend on the behavior of the participants. It is shown that the deferred acceptance auction allows to assign the radio spectrum of the 600 MHz band to the participants that give it more value and have the firm decision to participate until the end of it.

Keywords: Radioelectric spectrum, Deferred Acceptance Clock (DAA), allocation mechanisms

1 Introducción

El principal objetivo político de la gestión del espectro radioeléctrico es garantizar una adecuada asignación del recurso (Massaro, 2017), lo que con lleva a cuestionarse cuál es el mecanismo más apropiado para nuevas licencias de espectro, que sea un medio para maximizar su valor y obtener beneficios sociales (Beltrán, 2017), y que permita incrementar la disponibilidad de servicios de telecomunicaciones de alta calidad. Una gestión ineficiente implica escasa infraestructura de telecomunicaciones, poca cobertura, precios elevados (OCDE, 2016). Lo que hace sea muy importante el diseño de una subasta de espectro, en la cual se establezcan los precios adecuados y no solo se centre en incrementar los ingresos generados por la misma.

Haciendo hincapié que existe una fuerte relación entre los métodos de asignación de espectro radioeléctrico utilizados y los resultados que se generan en el mercado de las telecomunicaciones (Kuroda & Baquero, 2017), convirtiéndolo en un tema crucial para los gobiernos (Given & Cave, 2017).

Las subastas se han utilizado con el objetivo principal de asignar eficientemente el espectro radioeléctrico (Martínez & Jiao, 2017) y al mismo tiempo permitir que los servicios que se ofrezcan por el uso del espectro sean de alta calidad (GSMA, 2019). Además generan menos controversias políticas o legales que los sorteos o las loterías (Binmore & Klemperer, 2002).

Massaro (2017) indica que aunque las subastas se consideran como un mejor mecanismo de asignación en comparación con otros procedimientos, el mercado han indicado que aún presenta inconvenientes, por ejemplo algunas subastas no establecen precios límite y los participantes realizan sus ofertas sin saber cuál es la cantidad aproximada que deben ofertar, ocasionando que se pague más por el espectro de lo que realmente es necesario (GSMA, 2019). Autores como (Wang, Sun, Ren, 2016) hacen relevancia que las subastas de espectro deben permitir una asignación de espectro veraz que brinde resistencia a la generación de colusión entre los participantes.

En años recientes (Milgrom & Segal, 2019) crearon un mecanismo diferente a las subastas anteriores, llamado subasta de aceptación diferida, el cual es un mecanismo que posee características en conjunto que lo hacen una opción para subastar espectro radioeléctrico. Esta

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

subasta se basa en algoritmos con reglas de asignación que puede implementarse realizando algoritmos adaptativos codiciosos de manera inversa y que inicia con todos los participantes activos que se realiza en una secuencia de etapas y termina hasta que se encuentre ganador. (Dütting, Gkatzelis, Roughgarden, 2017).

En cuanto a la banda de 600 Mhz se puede mencionar que es una banda de frecuencia bajas que puede ser utilizada para servicios de quinta generación (IFT, 2019). Lo que la convierte en una banda importante de considerar para ser analizada junto con la subasta de aceptación diferida.

Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación es analizar dos escenarios de asignación de espectro para la banda de 600 Mhz utilizando el algoritmo de subastas de reloj de aceptación diferida descendente propuesto por Milgrom, que contrasta con los algoritmos estándares y el cual permite preservar la privacidad de los ganadores, incorporar restricciones presupuestarias y fijar precios, obteniendo resultados más eficientes a menores costos.

El artículo está dividido en tres secciones, la primera trata lo relacionado al marco teórico que incluye los temas de asignación de espectro usando subastas, algoritmo de subasta de aceptación diferida y banda de 600 Mhz. En el segundo, se describe la metodología realizada en este trabajo y por último, en la tercera sección se presenta el análisis de las simulaciones con los resultados y las conclusiones, así como, las referencias en las cuales se basó la investigación.

2 Marco Teórico

En esta sección, se realiza una revisión de la utilización de mecanismos de asignación de espectro radioeléctrico utilizando subastas, posteriormente mencionamos las características de la subasta de aceptación diferida.

2.1 Asignación de espectro usando subastas

En cuanto a la gestión de espectro usando subastas, esta se remonta a los años 50, cuando Coase(1959) propuso asignar el espectro radioeléctrico por medio de este mecanismo, es así que el concepto de subasta ingresa en la literatura económica debido a los trabajos teóricos de Vickrey (1961), con el cual se lograron grandes avances en este contexto (Klemperer,1999).

Cabe señalar que Estados Unidos fue de los primeros países en utilizar la subasta ascendente simultánea propuesta por Vickrey, posteriormente en la década de 1990 algunos países europeos utilizaron subastas para asignar espectro para tecnologías 2G y para finales del 2000 la gran mayoría de países europeos incluyeron subastas para asignarlo (Grimm, Riedel, & Wolfstetter, 2003).

En los últimos años se han diseñado varios tipos subasta, tales como: las subastas de reloj combinatorio ascendente simple, la combinatoria de oferta sellada de primer precio, la subasta simultánea de varias rondas (SMRA) y la más utilizada para venta de espectro es la subasta de

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

reloj combinatorio de dos etapas (CCA). Estas subastas han generado nuevos problemas que han permitido se genere el cuestionamiento sobre el futuro de los algoritmos adecuados para las subastas de espectro (Bichle & Goeree, 2017). Por ejemplo (GSMA, 2019) indica que las subastas de ronda única en donde no se establecen precios límite los participantes hacen sus ofertas sin saber cuál es la cantidad aproximada que deben ofertar, ocasionando se pague más de que lo realmente es necesario para obtener el espectro. Generando el concepto de maldición del ganador, donde el espectro es asignado pero no necesariamente crea más valor para el participante ganador, cabe mencionar que dicho concepto fue utilizado en la literatura por primera vez por autores como Clapp, Capen, Campbell en los años 70's y en donde el participante requiere distinguir entre el valor esperado del objeto en venta, tomando como referencia la información disponible, y el valor esperado al ganar la subasta (Thaler, 1988).

Adicionalmente otro problema que se presenta en la práctica, es la forma en que los participantes puedan coludir y puedan llegar a acuerdos, en donde se presenten escenarios en que algunos participantes oferten precios demasiados altos mientras que otros participantes oferten precios bajos Klemperer (1999), es decir en una subasta de espectro, la colusión se genera porque los licitadores organizan sus ofertas para manipular los resultados (Wang, Sun, Ren, 2016). A su vez la FCC (Federal Communications Commission por sus siglas en inglés) menciona que hace algunos años, los participantes podrían ver la información y ofertas de los involucrados en la licitación. Sin embargo, la transparencia dio oportunidad a los participantes de obtener información sobre los precios y género que los participantes realizarán colusiones. A su vez autores como (Zhao & Tang, 2018) mencionan que una forma de evitar se genere colusión en una licitación es estableciendo precios de apertura que sean razonables. Autores como Hoffman

(2010) señalan que una subasta donde se establece límites de precios, se perciben más justas y si las reglas de la subasta están bien diseñadas, los bienes serán asignados a los participantes que más los valoren, por su parte Dippon (2009) argumenta que precios demasiado altos y sin restricciones podrían disminuir la competencia.

De igual modo, el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) en un estudio para México del 2018 reporta que algunas problemas generados por el uso de subastas han sido principalmente: los riesgos de exposición que significa adjudicarse un bien por el cual no se está totalmente interesado, la desigualdad en asignar espectro a agentes preponderantes y que gane un participante de último momento. En definitiva una subasta que permita una adjudicación adecuada a los postores que más valoren el espectro y le den el uso adecuado serán más eficientes (GSMA, 2017).

2.2 Subasta de aceptación diferida

Consideremos ahora la subasta de aceptación diferida propuesta por Milgrom y Segal, la cual presenta algunas propiedades que las distinguen de otras subastas. La primera propiedad, refiere que es a prueba de estrategia lo que evita que los participantes jueguen estrategias dominantes, debido a que los precios nunca aumentan y pueden tomar la decisión de salir en cualquier ronda cuando se reduzca el precio. (Milgrom & Segal, 2019).

Segundo es resistente a prueba de estrategia de grupo, no existe forma que una coalición aumente la utilidad de cada participante. Tercero establece restricciones presupuestarias y en cada ronda

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

los precios disminuyen realizando una asignación eficiente; y por último presenta privacidad del ganador, los licitadores ganadores solo revelan información mínima sobre sus valores propuestos en la subasta, así mismo es importante mencionar que es computable (Milgrom & Segal, 2019).

En cuanto al funcionamiento de la subasta de aceptación diferida se puede describir que es un mecanismo en donde es necesario el registro de todos y cada uno de los participantes, los cuales se comprometen a aceptar los precios de apertura y en donde en cada ronda se presenta una secuencia de precios decreciente a cada participante; y el participante puede decidir salir o continuar en la subasta, entonces el nuevo conjunto de participantes es aquel que se forma con los participantes que no han salido, cada postor inicia con una puntuación dependiendo del precio ofertado. Si decide quedarse se le asigna una nueva puntuación. Se asegura que la subasta termine en un número limitado de períodos deteniéndose cuando los participantes aún activos constituyen una solución factible (Ver figura 1) (Milgrom & Segal, 2019).

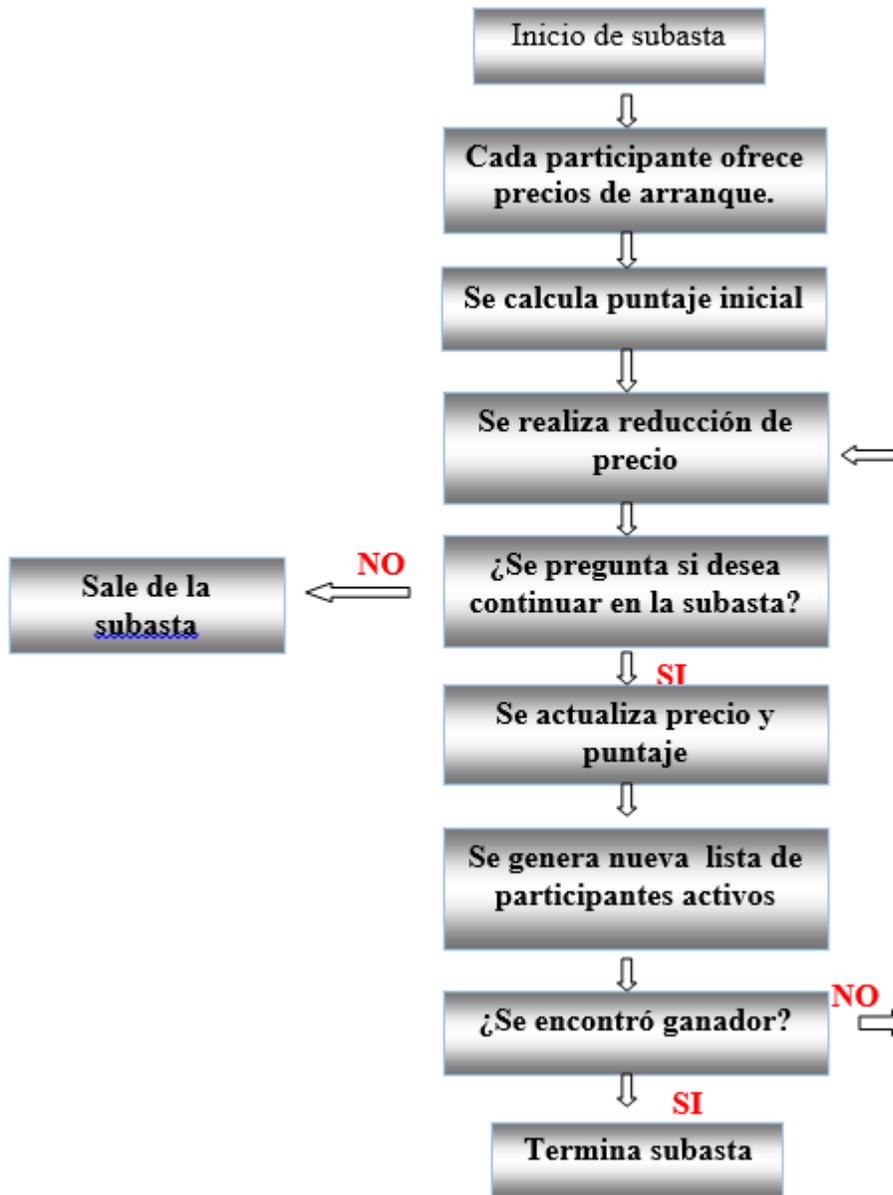


Fig. 1 Funcionamiento del algoritmo de subasta de aceptación diferida.

2.3 Banda de 600 Mhz

Esta banda ofrece oportunidades de mejorar y brindar mejores coberturas para servicios 5G (IFT, 2019) y está formada por las frecuencias que van de los 614 a 698 MHz. Contiene 7 bloques de 5 Mhz cada uno, disponibles para uso de espectro radioeléctrico, denotados por las letras A a la G que permiten emplear 35+35 MHz para un total de 70 MHz (Ver figura 2). La banda de enlace ascendente (Uplink) conformada de 663 a 698 MHz y la banda de enlace descendente (downlink) de los 617-652 MHz (FCC, 2019).

GUARD BAND	DOWNLINK BAND	DUPLEX GAP	UPLINK BAND	TOTAL
614-616	A B C D E F G	652-663	A B C D E F G	85 MHZ
	DISPONIBLE		DISPONIBLE	

Fig. 2 Distribución de banda de 600 Mhz.
Elaboración propia Fuente FCC.

3 Metodología

En el presente artículo se realiza una investigación experimental en la cual se proponen dos escenarios de asignación de espectro utilizando el algoritmo de subastas de reloj de aceptación diferida para la banda de frecuencia de 600 Mhz, a fin de evaluar el mecanismo y proporcionar evidencia del funcionamiento del mismo.

La metodología fue aplicada en 4 etapas: establecimiento del modelo del algoritmo de aceptación diferida, desarrollo computacional con el lenguaje de programación R, generación de simulaciones y análisis de los resultados.

a) Modelo

Consideremos entonces a $N = \{1, 2, \dots, n\}$ como el conjunto de participantes para la licitación de espectro, los cuales aceptan los precios de apertura de la subasta $p_{min}(N)$ y $p_{max}(N)$ a partir de los cuales los participantes ofrecen un precio de arranque $p_{inicial}(N)$. En el tiempo $t=1$ a cada participante se le asignará una valoración inicial determinada por la diferencia entre el precio inicial que ofreció el participante y el precio límite que el participante haya ofertado, denotado por $Pun(N) = p_{inicial}(N) - p_{max}(N)$. En el tiempo $t \geq 2$, cada postor puede salir o aceptar una reducción en el precio del 10 por ciento aplicado al precio actual activo de la ronda activa, obteniendo un conjunto nuevo de postores activos $NN = \{1, 2, \dots, n\}$. Al participante que decide continuar, se le actualiza el nuevo precio aceptado y se le asigna un nuevo puntaje determinado por el puntaje acumulado de la ronda anterior + 1 denotado por $Pun(N) = Pun(N) + 1$. La subasta termina cuando a partir del tiempo $t \geq 2$ cuando se haya encontrado a un ganador o hasta que los precios decrecientes lleguen a 0 considerando ganadores a los participantes con un puntaje mayor.

4 Análisis de simulaciones y resultados

Para evaluar el rendimiento del algoritmo desarrollado, se realizaron una serie de simulaciones divididas en simulación 1:A y simulación 1:B. Para fines de este estudio se consideran los siguientes supuestos: La simulación de la subasta considera que los participantes ya cumplieron las condiciones impuestas por el regulador y están listos para participar en la subasta.

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

Adicionalmente se asume que el pago final que el participante ganador debe pagar al regulador es el precio más alto que se haya ofrecido desde la ronda 1, obtenido de todas las ofertas de los participantes.

La oferta inicial de los participantes se realiza con base a los precios de apertura establecidos por el regulador. Los precios utilizados para las simulaciones fueron obtenidos de estudios del año 2016 de la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development por sus siglas en inglés), considerando rangos de precios de 10 a 500 millones de dólares de subastas realizadas en América Latina. Adicionalmente la decisión de quedarse o salir de la subasta fue generada por aleatoriedad en el algoritmo.

Hay que mencionar además que el bien a ofertar se ofrece en dos licencias de espectro, en primera instancia es un bloque de 5 Mhz y posteriormente dos bloques de 5 Mhz de espectro de la banda de frecuencias de 600 Mhz.

Simulación 1: A

Supongamos que existe la licitación A para venta de espectro radioeléctrico llamada simulación 1:A, la cual consiste en subastar el bloque C pareado que va de las frecuencias 627 a 631 para downlink y de la 674 a 678 para uplink con un total de 5 Mhz de espectro, en donde los participantes pueden ser 2, 3, 4 respectivamente y donde solo se obtendrá un ganador.

En este escenario se realizaron un total 120 simulaciones del algoritmo considerando en distintos momentos 2, 3 y 4 participantes respectivamente y diferentes precios de apertura, los cuales abarcaron los siguientes rangos: 10 a 15, 15 a 20, 20 a 25, 25 a 50, 50 a 75, 75 a 100, 100 a 125,

125 a 150, 150 a 200, 200 a 250, 250 a 300, 300 a 350, 400 a 450 y por último de 450 a 500 USD. Los precios de cada participante fueron generados por medio de programación R respetando los precios de apertura establecidos por el licitador.

La primera ronda consistió en calcular el puntaje inicial de los participantes y donde el participante con un precio de oferta máxima con respecto a los demás participantes acumulaba el máximo puntaje. A partir de la segunda ronda se observó independientemente del puntaje acumulado los participantes que decidían continuar en la subasta podían llegar a formar parte del posible grupo de ganadores de espectro y si un participante con puntaje alto decidía salir daba la oportunidad a otros con menores puntuaciones a formar parte de este grupo.

Cabe recalcar que si un participante desde el inicio de la subasta oferto el precio máximo y decidió continuar en el transcurso de todas las rondas sería el ganador del espectro.

Así mismo, se aprecia que la cantidad de rondas máximas del algoritmo está relacionada con la decisión de continuar en la subasta, si existen participantes con el objetivo de llegar al final de rondas la subasta no terminará antes de lo previsto.

A continuación se presenta un resumen de las simulaciones realizadas considerando 2, 3 y 4 participantes (Ver Tabla 1), en donde se aprecia el no de simulación, la cantidad de participantes, los precios de apertura en USD, los precios ofertados por cada participante, la cantidad de rondas

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

realizadas en la simulación, la decisión del participante 1=Continua/0 Sale de la subasta y el ganador de la subasta de espectro.

Tabla 1 Resumen de resultados de simulaciones para un bloque de espectro.

ID	P	Precios apertura	Precios ofertados	Puntaje Final	Rondas	Decisión	Ganador
A	2	10-15	14/15	25/26	26	1/1	P2
B	2	15-20	16/15	22/21	26	1/1	P1
C	2	20-25	20/25	24/29	29	1/1	P2
D	2	25-50	40/40	28/26	36	1/1	P1
E	2	50-75	68/61	31/24	40	1/1	P1
F	3	75-100	77/89/90	18/30/-10	42	1/1/0	P2
G	3	100-125	118/105/125	38/25/45	46	1/1/1	P3
H	3	125-150	132/140/150	28/-10/46	47	1/0/1	P3
I	3	150-200	196/168/150	44/16/-50	49	1/1/0	P1
J	3	200-250	241/235/200	-8/36/1	51	0/1/1	P2
K	4	250-300	255/289/250/300	-44/43/4/1	54	0/1/1/1	P2
L	4	300-350	340/329/300/348	44/-20/-49/52	54	1/0/0/1	P4
M	4	350-400	363/326/350/350	18/-19/-49/-49	55	1/0/0/0	P1
N	4	400-450	412/446/448/435	-37/54/-1/43	58	0/1/0/1	P2
O	4	450-500	497/472/480/472	56/31/39/31	59	1/1/1/1	P1

ID= No. de la simulación, P= número de participantes de la subasta. Los puntajes negativos corresponden a participantes que salieron de la subasta y ya no se les calculó un nuevo puntaje.

Fuente: elaboración propia.

Simulación 1: B

Supongamos que existe la licitación B para venta de espectro radioeléctrico llamada simulación 1:B, la cual consiste en subastar 2 bloques de 5 Mhz del bloque C pareados, el primer bloque de las frecuencias 627 a 628 para downlink y del 674 a 675 para uplink, y el segundo bloque del 630 a 631 para downlink y 677 a 678 para uplink, en los cuales los participantes pueden ser 2, 3, 4 respectivamente y donde solo habrá dos ganadores distintos, uno para cada bloque de espectro. La subasta será realizada de manera simultánea y los participantes pueden asignar precios diferentes a cada bloque solo cumpliendo con los precios de apertura establecidos o solo participar por algún bloque de espectro.

En este escenario se realizaron un total 150 simulaciones del algoritmo considerando en distintos momentos 2, 3 y 4 participantes respectivamente y diferentes precios de apertura, los cuales abarcaron los siguientes rangos: 10 a 15, 15 a 20, 20 a 25, 25 a 50, 50 a 75, 75 a 100, 100 a 125, 125 a 150, 150 a 200, 200 a 250, 250 a 300, 300 a 350, 400 a 450 y por último de 450 a 500 USD. Es esta simulación se asignaron los precios por medio de programación R, respectado los precios de apertura y cumpliendo con el supuesto que los participantes podían asignar diferentes precios para cada bloque de espectro.

La primera ronda consistió en calcular los puntajes iniciales de los participantes para cada bloque de espectro de manera simultánea y donde los participantes con un precio de oferta máxima acumulaban el máximo puntaje en cada bloque. A partir de la segunda ronda se observó independientemente del puntaje acumulado los participantes que decidían continuar en la subasta podían llegar a ser ganadores, y si un participante con puntaje alto decidía salir daba la oportunidad a otros con menores puntuaciones a formar parte de este grupo.

Considerando que en este escenario la subasta es simultánea, la asignación de espectro consistió en analizar los puntajes acumulados de cada bloque de espectro. Cabe recalcar que si un participante desde el inicio de la subasta oferto el precio máximo en alguno de los bloques y decidió continuar en el transcurso de todas las rondas sería ganador al menos de un bloque. De igual manera si un participante apostó el precio máximo por ambos bloques y obtiene el puntaje máximo en ambos, será ganador de un solo bloque y el otro bloque será asignado al segundo lugar (Ver tabla 2).

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

Tabla 2. Resumen de resultados de simulaciones para dos bloques de espectro.

ID	P	Precios apertura	Precios ofertados	Puntaje Final	Rondas	Decisión	Ganador
A	2	10-15	14/15 13/12	24/25 21/20	24	1/1 1/1	P2 P1
B	2	15-20	16/15 15/18	21/20 20/23	26	1/1 1/1	P1 P2
C	2	20-25	20/25 25/25	23/28 28/28	29	1/1 1/1	P2 P1
D	2	25-50	40/40 39/50	25/25 24/35	36	1/1 1/1	P1 P2
E	2	50-75	68/68 70/50	30/30 31/11	38	1/1 1/1	P2 P1
F	3	75-100	77/89/90 88/95/100	18/30/-9 29/36/41	42	1/1/0 1/1/1	P2 P3
G	3	100-125	118/105/125 109/125/124	-6/24/44 27/43/-1	45	0/1/1 1/1/0	P3 P2
H	3	125-150	132/140/150 148/125/149	26/-9/44 42/19/18	45	1/0/1 1/1/1	P3 P2
I	3	150-200	196/168/150 150/190/150	43/-31/-3 -3/37/-3	48	1/0/1 1/1/1	P1 P2
J	3	200-250	241/235/200 222/240/250	-8/35/0 22/40/1	51	0/1/1 1/1/0	P2 P1
K	4	250-300	255/289/250/300 255/289/250/300	7/41/-49/52 -44/41/2/1	53	1/1/0/1 0/1/1/0	P4 P2
L	4	300-350	340/329/300/348 350/310/348/320	-9/34/5/-1 55/-39/53/-29	56	0/1/1/0 1/0/1/0	P2 P1
M	4	350-400	363/350/389/380 380/350/400/362	18/5/-10/-19 35/5/55/17	56	1/1/0/0 1/1/1/1	P1 P3
N	4	400-450	412/446/448/435 400/420/415/450	-38/47/-2/-15 2/22/17/52	53	0/1/0/0 1/1/1/1	P2 P4
O	4	450-500	450/472/480/489 489/469/450/500	8/-27/38/-10 -10/27/-49/58	59	1/0/1/0 0/1/0/1	P3 P4

Los puntajes negativos corresponden a participantes que salieron de la subasta y ya no se les calculó un nuevo puntaje.

FUENTE: elaboración propia.

5 Conclusiones

Esta investigación propuso analizar dos escenarios de asignación de espectro utilizando el algoritmo de aceptación diferida, para participantes de una licitación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz, permitiendo analizar el comportamiento de la subasta para obtener resultados con un enfoque analítico.

(Zhao & Tang, 2018) mencionan que una forma de evitar se genere colusión en una licitación es estableciendo precios de apertura, en primera instancia en los resultados de la simulación se observa que los participantes saben desde un inicio cual es el precio máximo con el cual van a realizar su oferta, haciendo esta subasta más clara para los participantes, ya que no pagan más de que lo realmente es necesario para obtener el espectro, haciendo la asignación más justa. Habría que decir también que a los participantes les es difícil generar estrategias sobre precios, debido a que tienen que limitarse a ofertar sobre los rangos establecidos de precios de apertura, aún si algún participante ofrece el precio de apertura máximo no tendrá ninguna ventaja sobre otro participante con la misma característica y la única diferencia será su decisión de continuar para ganar el espectro ofertado. Si en algún momento estos participantes con igualdad de condiciones llegan al final de la lista de participantes ganadores, el regulador tendría que definir el criterio de desempate y asignar un ganador.

(Wang, Sun, Ren, 2016) indican que las subastas de espectro que permitan una asignación de espectro adecuada deben proporcionar equidad en los precios. En la subasta de aceptación diferida se observa esta característica en el decremento en precios, ya que implica que ningún participante podrá tomar ventaja al querer ofrecer un precio más alto en alguna ronda y deberá

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

aceptar la disminución en precios del regulador con fines del funcionamiento de la subasta, pero teniendo claro que si gana tendrá que pagar el precio máximo que se haya ofertado.

En segunda instancia, la privacidad de la información en la subasta implica que los participantes no poseen información detallada sobre los otros competidores, tales como precios ofertados y puntajes, lo que ocasiona que no se pueda generar ninguna colisión. Así para que el participante sea parte del grupo de ganadores debe seguir aceptando las condiciones de la subasta en el número de rondas establecidas, lo que con lleva a que realmente tiene que estar convencido de querer adjudicarse el bien.

Por otro parte, en esta subasta también se pudo comprobar que no es posible ser ganador de último momento ya que la lista de participantes es establecida desde el inicio de la subasta y la única manera en que pueda asignarse espectro radioeléctrico a un agente preponderante es que este oferte el precio máximo de apertura y no exista otra oferta que lo supere.

De manera general los resultados indican que el desempeño de la subasta es una opción para la asignación de espectro para las bandas que serán utilizadas para servicios de quinta generación tal como la de 600 Mhz, ya que computacionalmente se obtuvieron resultados que confirman las características principales de la subasta tales como: precios límites de apertura, no permite colusión y finalmente la decisión clara de los participantes por seguir participando hasta obtener el espectro.

Con mira a trabajos futuros, es importante considerar escenarios con paquetes de espectro radioeléctrico en los cuales varios participantes puedan adquirir una proporción de espectro en

diferentes bandas de frecuencia de quinta generación y un análisis de aversión del riesgo para la decisión de continuar en la subasta, así como, establecer otros escenarios de puntuación y porcentajes de decremento en los precios para analizar el comportamiento en otros escenarios.

Referencias

- Beltran, F. (2017). Accelerating the Introduction of Spectrum Sharing Using Market-Based Mechanisms. *IEEE Communications Standards Magazine*, 1(3), 66–72. [doi:10.1109/mcomstd.2017.1700012](https://doi.org/10.1109/mcomstd.2017.1700012)
- Bichler, M., & Goeree, J. K. (2017). Frontiers in spectrum auction design. *International Journal of Industrial Organization*, 50, 372–391. [doi:10.1016/j.ijindorg.2016.05.006](https://doi.org/10.1016/j.ijindorg.2016.05.006)
- Coase, R. H. (2013). The federal communications commission. In *Private and Common Property* (pp. 53-92). Routledge. <https://doi.org/10.1086/466549>
- Binmore, K., & Klemperer, P. (2002). The biggest auction ever: the sale of the British 3G telecom licences. *The Economic Journal*, 112(478), C74-C96. <https://doi.org/10.1111/1468-0297.00020>
- Grimm, V., Riedel, F., & Wolfstetter, E. (2003). Low price equilibrium in multi-unit auctions: the GSM spectrum auction in Germany. *International journal of industrial organization*, 21(10), 1557-1569. [https://doi.org/10.1016/S0167-7187\(03\)00058-4](https://doi.org/10.1016/S0167-7187(03)00058-4)
- Dippon, C. M. (2009). “Regulatory Policy Goals and Spectrum Auction Design: Lessons from the Canadian AWS Auction.” *NERA Economic Consulting*
- Dütting, P., Gkatzelis, V., & Roughgarden, T. (2017). The performance of deferred-acceptance auctions. *Mathematics of Operations Research*, 42(4), 897-914.
- FCC (2019). 600 MHz Band. 600 MHz Band Plan and License Information. Federal Communications Commission. Disponible en <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/broadband-division/600-mhz-band>
- Given, J., & Cave, M. (2017). Optimización del uso del espectro. *Telecommunications Policy*, 41(5–6), iii–vi. [https://doi.org/10.1016/S0308-5961\(17\)30331-2](https://doi.org/10.1016/S0308-5961(17)30331-2)
- GSMA (2017). Espectro Radioeléctrico: Precios eficientes para una mejor calidad y mayor asequibilidad de los servicios móviles. Nera economic consulting.

Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 Mhz.

- GSMA (2019). Mejores prácticas en subastas de espectro. Documento de posicionamiento de política pública de GSMA. Disponible en <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/05/Auction-Best-Practice-SPA.pdf>
- Haan, M. A., & Toolsema, L. A. (2011). License auctions when winning bids are financed through debt. *Journal of Industrial Economics*, 59(2), 254–281. <https://doi.org/10.1111/j.1467-6451.2011.00454.x>
- Hoffman, K. (2010). Spectrum Auctions. *International Series in Operations Research & Management Science*, 147–176. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-6111-2_7
- IFT (2018). Importancia y valor del espectro, experiencia en asignación y evaluación. Unidad de espectro Radioeléctrico. Dirección General de Economía del Espectro y recursos orbitales. Disponible en https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/Events2018/RED-AMS_Mexico/Ses3-6%20Importancia%20Valor%20Espectro%20CSanchez%20IFT%20Mexico.pdf
- IFT (2019). Panorama del espectro radioeléctrico en México para servicios móviles de quinta generación. Unidad de Espectro Radioeléctrico Marzo 2019
- Klemperer, P. (1999). Auction theory: A guide to the literature. *Journal of economic surveys*, 13(3), 227-286. <https://doi.org/10.1111/1467-6419.00083>
- Kuroda, T., & Forero, M. D. P. B. (2017). The effects of spectrum allocation mechanisms on market outcomes: Auctions vs beauty contests. *Telecommunications Policy*, 41(5-6), 341-354. [10.1016/j.telpol.2017.01.006](https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.01.006)
- Klemperer, P. (2002). What really matters in auction design? *Journal of economic perspectives*, 16(1), 169-189. <https://doi.org/10.1257/0895330027166>
- Martínez, C. R. & Wenfei, J. (2017). A Brief Review and Analysis of Spectrum Auctions in Canada. Duke University Durham, North Carolina 2017. <https://pdfs.semanticscholar.org/bd3c/d4c957234812fa5e2b8b40e467d49ae0e7dd.pdf>
- Massaro, M. (2017). Next generation of radio spectrum management: Licensed shared access for 5G. *Telecommunications Policy*, 41(5-6), 422–433. [doi:10.1016/j.telpol.2017.04.003](https://doi.org/10.1016/j.telpol.2017.04.003)
- Milgrom, P., & Segal, I. (2019). Clock Auctions and Radio Spectrum Reallocation. *Journal of Political Economy*. doi:10.1086/704074
- OECD (2016). Broadband Policies for Latin America and the Caribbean. A Digital Economy Toolkit. <https://doi.org/10.1787/9789264251823-en>
- Thaler, R. H. (1988). Anomalies: The Winner's Curse. *Journal of Economic Perspectives*, 2(1), 191–202. doi:10.1257/jep.2.1.191

- Wang, Q., Sun, Q., Ren, K., & Jia, X. (2016). THEMIS: Collusion-resistant and fair pricing spectrum auction under dynamic supply. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 16(7), 2051-2064. DOI: [10.1109/TMC.2016.2609425](https://doi.org/10.1109/TMC.2016.2609425)
- Van Damme, E. (2002). The European UMTS-auctions. *European Economic Review*, 46(4-5), 846-858 <https://pure.uvt.nl/ws/portalfiles/portal/543589/100.pdf>
- Zhao, F., & Tang, Q. (2018). A KNN learning algorithm for collusion-resistant spectrum auction in small cell networks. *IEEE Access*, 6, 45796-45803. doi:10.1109/access.2018.2861840