

# **Informe UIT-R SM.2523-0**

**(06/2023)**

Serie SM: Gestión del espectro

## **Evaluación de la eficiencia y el valor económico del espectro**



## Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

### Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

#### Series de los Informes UIT-R

(También disponible en línea en <https://www.itu.int/publ/R-REP/es>)

Series	Título
<b>BO</b>	Distribución por satélite
<b>BR</b>	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
<b>BS</b>	Servicio de radiodifusión (sonora)
<b>BT</b>	Servicio de radiodifusión (televisión)
<b>F</b>	Servicio fijo
<b>M</b>	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
<b>P</b>	Propagación de las ondas radioeléctricas
<b>RA</b>	Radioastronomía
<b>RS</b>	Sistemas de detección a distancia
<b>S</b>	Servicio fijo por satélite
<b>SA</b>	Aplicaciones espaciales y meteorología
<b>SF</b>	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
<b>SM</b>	<b>Gestión del espectro</b>
<b>TF</b>	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias

*Nota: Este Informe UIT-R fue aprobado en inglés por la Comisión de Estudio conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2023

© UIT 2023

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

## INFORME UIT-R SM.2523-0

**Evaluación de la eficiencia y el valor económico del espectro**

(2023)

## ÍNDICE

*Página*

1	Alcance .....	2
2	Antecedentes.....	2
3	Evaluación de la eficiencia espectral.....	2
3.1	Estudio de caso 1 .....	2
3.2	Estudio de caso 2 .....	9
4	Estimación del valor económico del espectro .....	10
4.1	Ejemplos de factores que influyen en el valor del espectro.....	10
4.2	Pueden utilizarse modelos para estimar el valor del espectro (solo a título informativo).....	13
5	Resumen .....	14
	Anexo 1 – Estudio de caso sobre la estimación del valor del espectro a través del PIB .....	14
1	Análisis de la contribución económica directa al PIB .....	14
2	Análisis de la contribución extraeconómica al PIB .....	14
	Anexo 2 – Estudio de caso sobre la evaluación del valor del espectro a través de los parámetros de los sistemas.....	17
	Anexo 3 – Estudio de caso sobre la evaluación del valor del espectro basada en los resultados de las subastas de espectro .....	17
	Adjunto 1 al Anexo 3 – Procedimiento detallado de las subastas de espectro.....	19
1	Factores que afectan a las subastas .....	19
2	Modelos de subasta de espectro.....	22
3	Metodología para determinar el precio de salida de los lotes de espectro subastados .....	35
	Adjunto 2 al Anexo 3 – Experiencias nacionales de subastas de espectro.....	38
1	Estados Unidos de América.....	38
1.1	Subasta en plica de una ronda.....	38
1.2	Subasta ascendente de varias rondas .....	38
1.3	Subasta de tipo reloj .....	38
1.4	Subasta de incentivos.....	38
	Anexo 4 – Estudio de caso en China sobre la evaluación de la eficiencia espectral .....	42

## **1 Alcance**

En el presente Informe, que contiene una descripción de los métodos para cuantificar la eficiencia y el valor económico del espectro, se examinan los factores que afectan al valor económico del espectro y se describen modelos para estimar ese valor.

Téngase en cuenta que, siempre que en este Informe se haga referencia al valor económico, se entiende que debe limitarse a las estrategias adoptadas en los modelos económicos de la gestión nacional del espectro. La evaluación de la eficiencia y el valor económico del espectro<sup>1</sup> depende de muy diversos factores (como los servicios radioeléctricos, la anchura de banda, las zonas de servicio, la banda de frecuencias, el emplazamiento de la banda de frecuencias, la situación económica del país en el que se va a realizar la evaluación, etc.), así como de criterios que difícilmente podrían aplicarse con carácter global a todos los países. Así pues, esos elementos y la información conexas son un mero reflejo de los puntos de vista del miembro contribuyente, y pueden no ser necesarios para examinar la situación de otros países. Por consiguiente, los Anexos se consideran meramente informativos.

## **2 Antecedentes**

La mejora de la eficiencia espectral ayudará a resolver la escasez de recursos espectrales, a fin de aprovechar al máximo los limitados recursos espectrales y de satisfacer la creciente demanda de utilización del espectro. Las administraciones pueden conocer con objetividad el uso de los recursos espectrales basándose en la evaluación de la eficiencia espectral, de manera que les permita adoptar las medidas y decisiones oportunas para mejorar el nivel científico de la gestión del espectro.

Entretanto, el espectro es un recurso natural limitado de gran valor económico. El valor económico puede dividirse en económico directo y extraeconómico. La estimación del valor económico del espectro en sí es algo muy complicado. Existen numerosos estudios sobre las manifestaciones del valor económico del espectro y los factores que lo determinan. El valor económico del espectro representa el valor de los recursos espectrales en el mercado económico. Ayuda a la autoridad competente a regular la atribución del espectro y la fijación de precios de los recursos espectrales, y constituye una parte importante de la gestión nacional del espectro.

## **3 Evaluación de la eficiencia espectral**

La eficiencia del espectro es importante para su gestión. En esta sección, se presenta un estudio de caso sobre la evaluación de la eficiencia espectral en el § 3.1, mientras que en el § 3.2 se presenta otro estudio de caso sobre la evaluación de la eficiencia de la utilización del espectro mediante la medición y el cálculo de la ocupación de las bandas de frecuencias, la ocupación de tiempo anual, la tasa de cobertura de zona y la tasa de servicio a usuarios.

### **3.1 Estudio de caso 1**

La utilización del espectro es la medida cuantificada en que se transmite información útil a través de transmisores y receptores mediante el uso de la anchura de banda de frecuencias, el espacio y el tiempo. La utilización del espectro implica el uso de transmisores y receptores que bloquean o limitan la utilización del espectro por otros receptores y transmisores. Por lo tanto, toda utilización del espectro provoca inevitablemente cierta cantidad cuantificable de bloqueo del espectro.

---

<sup>1</sup> Puede utilizarse como referencia el Informe UIT-R SM.2012, en el que se analizan los principios de evaluación de los beneficios económicos del espectro, se expone principalmente la práctica de los cánones de licencia de los países pertinentes y se describe brevemente la experiencia con la subasta de espectro, el uso de recursos alternativos, etc.

Dado que la utilización del espectro por cualquier usuario bloquea (es decir, deniega o limita) la utilización del espectro por otros usuarios, resulta evidente e imperiosa la necesidad de estudiar hasta qué punto es posible una mayor utilización del espectro por los usuarios en general, comprendiendo primeramente en qué medida cabe reducir ese bloqueo. La relación entre la cantidad de información útil transferida a través de un radioenlace, sistema o red y la cantidad de bloqueo provocado por esa misma transferencia de información es la eficacia de utilización del espectro (EUE) de ese sistema o red. Esta relación se denomina también eficiencia espectral. Suele ser una cantidad absoluta. Sin embargo, el bloqueo puede calcularse al menos de tres maneras:

- 1) En términos absolutos, como comparación con una cantidad mínima teórica de bloqueo.
- 2) Como comparación entre el bloqueo de un sistema radioeléctrico del mundo real y un sistema radioeléctrico de referencia arbitrario.
- 3) Como comparación del bloqueo entre dos sistemas radioeléctricos del mundo real.

Así pues, el bloqueo –y, por lo tanto, la relación de eficiencia espectral global que incluya el término de bloqueo– puede ser relativo o absoluto. No obstante, dado que los coeficientes de eficiencia espectral solo tienen utilidad en la medida en que permiten realizar comparaciones entre sistemas similares o entre un sistema dado y un constructo teórico (por ejemplo, frente a una eficiencia espectral máxima teórica), todos los resultados de eficiencia espectral son siempre relativos en cierto sentido.

Dicho de otro modo, la eficiencia espectral puede ser, en principio, un número arbitrario (por ejemplo, 225) que se compara con otro número arbitrario (1032). Estos pares de eficiencia espectral pueden compararse mediante el cociente de sus valores arbitrarios (en este caso, 225/1032). Otra posibilidad es referenciar cada eficiencia espectral a un límite teórico que, a su vez, puede normalizarse a la unidad; en este caso, toda eficiencia espectral se valoraría siempre entre 0 y 1. Con todo, en ambos casos los valores de eficiencia espectral se compararán en última instancia entre sistemas. Los valores de eficiencia espectral, incluso cuando se expresan en términos absolutos, son siempre relativos, ya que las comparaciones deben hacerse siempre entre pares.

La eficiencia espectral es una cuantificación numérica; es una métrica basada en las posibles características de los sistemas radioeléctricos.

### 3.1.1 Metas y objetivos

Una vez definidos los términos, al abordar el problema en posibles trabajos futuros de eficiencia espectral:

- se tendrán en cuenta los resultados de los estudios y recomendaciones anteriores y actuales de eficiencia espectral;
- se considerarán las tecnologías de radiocomunicaciones disponibles y las que probablemente vayan a utilizarse en un futuro próximo y que puedan afectar a la eficiencia espectral de los sistemas de radiocomunicaciones (incluidas las posibilidades de compartición del espectro entre algunos sistemas);
- se elaborará un método para determinar la eficiencia espectral de cualquier sistema de radiocomunicaciones, de modo que puedan compararse entre sí las métricas relativas de eficiencia espectral de dos sistemas similares de radiocomunicaciones.

Las métricas de eficiencia espectral deben ser realistas, comprensibles para las personas no expertas e implementables a los sistemas radioeléctricos y a los estudios de eficiencia de banda. Las implementaciones pueden ser herramientas informáticas.

Uno de los posibles trabajos futuros de eficiencia espectral consiste en el desarrollo de métricas de eficiencia espectral para diversos servicios radioeléctricos. Esa labor no incluiría los aspectos económicos de la implementación de diversos modelos de eficiencia espectral y sus repercusiones en la eficacia de la misión (esto es, cuán bien o cuán eficientemente funciona un sistema de radiocomunicaciones).

Las métricas de eficiencia espectral deben desarrollarse de una manera que permita su aplicación a tipos específicos de sistemas y servicios radioeléctricos.

### 3.1.2 Modelos de eficiencia espectral

Es necesario replantear la evaluación de la eficiencia espectral en presencia de compartición entre sistemas y servicios en la totalidad de la banda. La creciente demanda de acceso al espectro de frecuencias radioeléctricas ha renovado el interés nacional de alto nivel por proporcionar un mayor acceso general al espectro y por mejorar la eficiencia de su utilización. A fin de establecer un conjunto aceptable de criterios de eficiencia espectral, es necesario proceder a un examen y evaluación exhaustivos de las características de los sistemas dependientes del espectro y de las prácticas y políticas de gestión del espectro. El examen debe centrarse en los nuevos métodos y métricas de eficiencia espectral que puedan aplicarse a la utilización del espectro. También debe incluir un análisis de la eficiencia de las tecnologías nuevas y emergentes que puedan ofrecer mejoras de la eficiencia espectral. Es necesario incluir la compartición del espectro como un nuevo componente importante.

Conviene elaborar un conjunto de métricas versátiles de eficiencia espectral, implementables en diferentes bandas y tipos de sistemas radioeléctricos, de manera que sean rentables y prácticas para facilitar que los usuarios del espectro apliquen las medidas reglamentarias. Es necesario elaborar métricas específicas de eficiencia espectral que puedan aplicarse a las normas técnicas de los sistemas radioeléctricos utilizados por instituciones.

Se reconoce que las métricas de eficiencia espectral ocupan solo uno de los tres ejes del rendimiento de un sistema radioeléctrico: eficiencia, eficacia de la misión y costo. En última instancia, los tres componentes deben tenerse en cuenta en todos los sistemas radioeléctricos, ya que es perfectamente posible diseñar y desarrollar sistemas radioeléctricos que tengan una elevada eficiencia espectral, pero cuya implantación resulte poco práctica o poco eficaz para la misión.

Toda asignación de tareas debe incluir:

- Para cada zona estudiada, una propuesta detallada que incluya los elementos que se indican a continuación.
- Colaboración con las instituciones para identificar enfoques que permitan mejorar la eficiencia espectral, incluida la información pertinente de trabajos anteriores relacionados con los respectivos sistemas y servicios radioeléctricos de dichas instituciones.
- Publicación de un informe técnico que contenga los siguientes elementos:
  - una síntesis de los trabajos de eficiencia espectral que se hayan llevado a cabo;
  - una revisión bibliográfica exhaustiva para conocer los resultados de estudios anteriores sobre eficiencia espectral;
  - un análisis de los resultados de estudios anteriores de eficiencia espectral.

### 3.1.3 Ejemplo de construcción de métricas técnicas de eficiencia espectral

Como muestra la bibliografía, es bastante fácil elaborar métricas de eficiencia espectral y nada fácil implementarlas en los sistemas y servicios radioeléctricos individuales. La Recomendación UIT-R SM.1046 proporciona un punto de partida, en forma de orientaciones básicas para la elaboración de métricas de eficiencia espectral. Al realizar evaluaciones reales de eficiencia espectral de sistemas y servicios, incluso basados en bandas de servicio, las futuras métricas de eficiencia espectral utilizarán los siguientes parámetros del sistema radioeléctrico:

- potencia del transmisor y control de potencia;
- agilidad de frecuencia y características operacionales multibanda del transmisor;
- anchura de banda del transmisor;
- modulación del transmisor;
- anchura de impulso y frecuencia de repetición de impulsos (es decir, ciclo de trabajo) del transmisor para sistemas de impulsos;
- emisiones fuera de banda (OoB) no esenciales y armónicas del transmisor;
- configuraciones y calidad de funcionamiento de la antena transmisora;
- control definido por *software* del transmisor;
- control dinámico del transmisor para la compartición de espectro;
- características de sobrecarga del receptor;
- anchura de banda del receptor;
- sensibilidad del receptor;
- agilidad del receptor;
- capacidad de rechazo de interferencias del receptor;
- rendimiento de la antena receptora;
- control del receptor definido por *software*, lo que incluye factores de conocimiento de la ubicación, detección del entorno e información de bases de datos.

#### 3.1.3.1 Parámetros del transmisor que deben tenerse en cuenta en las métricas de eficiencia espectral

Los transmisores y receptores desempeñan funciones equivalentes en lo que respecta al bloqueo del espectro y la reducción de la eficiencia espectral. A continuación, se describen las características del transmisor y del receptor que probablemente se incluirán en la elaboración de la métrica de eficiencia espectral.

##### 3.1.3.1.1 Potencia del transmisor y control de potencia

La potencia del transmisor bloquea a otros usuarios; una menor potencia tiende a asociarse con un menor bloqueo y con una mayor eficiencia espectral, si todos los demás factores se mantienen constantes. El control de potencia puede ser un factor importante en la eficiencia espectral global y debe tenerse en cuenta en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

##### 3.1.3.1.2 Agilidad de frecuencia y características operacionales multibanda del transmisor

La agilidad de frecuencia es la capacidad de cambiar de frecuencia en respuesta a condiciones variables de un sistema radioeléctrico y en respuesta a factores externos del entorno radioeléctrico. La agilidad de frecuencia puede mejorar la eficiencia espectral. Algunos sistemas pueden funcionar en más de una banda radioeléctrica, cambiando de banda para evitar interferencias con algunos sistemas receptores. Las opciones operacionales multibanda pueden mejorar la eficiencia espectral y deben incluirse en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.1.3 Anchura de banda del transmisor**

La anchura de banda es un factor primario de bloqueo en la definición aceptada de eficiencia espectral. Generalmente se prefieren anchuras de banda más estrechas para mejorar la eficiencia espectral. Pero muchos sistemas modernos necesitan anchuras de banda considerables para funcionar. Sin embargo, dentro de estas anchuras de banda amplias, existen oportunidades para funcionar con ciclos de trabajo bajos y en bloques de recursos relativamente estrechos, que pueden permitir la compartición de superposiciones cronodependientes por un mayor número de usuarios. En la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral deben tenerse en cuenta estas oportunidades para los sistemas radioeléctricos de mayor anchura de banda.

### **3.1.3.1.4 Modulación del transmisor**

La modulación no es lo mismo que la anchura de banda, pero guarda relación con ella y debe ser una consideración importante en toda métrica de eficiencia espectral. Aunque algunos esquemas de modulación pueden ser más eficientes que otros, puede haber una relación inversa entre la eficiencia espectral de un esquema de modulación y la robustez de la modulación frente a las interferencias. Esta relación inversa puede significar que un esquema de modulación más eficiente requiera un mayor nivel de potencia de transmisión para mitigar o evitar las interferencias, lo que tiende entonces a reducir la eficiencia espectral. Las ventajas y desventajas asociadas a la selección de la modulación deberían tenerse en cuenta en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.1.5 Anchura de impulso y frecuencia de repetición de impulsos (es decir, ciclo de trabajo) del transmisor para sistemas de impulsos**

Los sistemas de impulsos (normalmente radares, pero a veces balizas) utilizan combinaciones de anchura de impulso y frecuencia de repetición de impulsos; la relación entre la anchura de impulso y la frecuencia de repetición de impulsos se denomina ciclo de trabajo. Los ciclos de trabajo más bajos suelen tener una mejor compartición con otros sistemas radioeléctricos que los ciclos de trabajo más altos. Sin embargo, una tendencia dominante del diseño en los últimos años ha consistido en utilizar ciclos de trabajo más altos porque los transmisores de estado sólido no pueden gestionar muy bien los requisitos de su misión con transmisiones de ciclo de trabajo bajo; los transmisores de tubo antiguos y de alta potencia que utilizan ciclos de trabajo más bajos a menudo pueden compartir el espectro mejor que sus homólogos de estado sólido más recientes. El examen de los factores del ciclo de trabajo es una característica que deberá tenerse en cuenta en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.1.6 Emisiones fuera de banda, no esenciales y armónicas del transmisor**

En teoría de la información, la anchura de banda es la anchura de canal necesaria para transmitir una determinada cantidad de datos por unidad de tiempo. Esta definición puede aplicarse (y se aplica) a los sistemas radioeléctricos. No obstante, cuando se trata de la eficiencia espectral, hay que abordar algo más que la anchura de banda de datos. También se debe tener en cuenta cuánta anchura de banda ocupa un sistema antes de que otro sistema (o incluso otro canal del mismo sistema) pueda utilizar otro canal adyacente. En realidad, esa anchura de banda no está relacionada con el límite de Shannon, o al menos solo lo está vagamente. Esta es la anchura de banda de las emisiones fuera de banda no esenciales de un sistema radioeléctrico. Aunque no es una característica habitual de la mayoría de los sistemas radioeléctricos, puede ser un factor clave para determinar la eficiencia espectral de un determinado sistema radioeléctrico. Las emisiones armónicas también influyen en la eficiencia espectral.

Es de suma importancia entender que los niveles de emisiones OoB, no esenciales y armónicas no son lo mismo que los límites de máscara reglamentarios establecidos para esos niveles. Los niveles de emisiones OoB, no esenciales y armónicas de la mayoría de los sistemas radioeléctricos se sitúan muy por debajo (a menudo con una diferencia de decenas de decibelios) de los límites de máscara aplicables. Por lo tanto, los límites de máscara no deben utilizarse en los estudios de eficiencia espectral. Es necesario determinar los niveles reales de emisiones OoB, no esenciales y armónicas y utilizarlos en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral siempre que sea posible.

#### **3.1.3.1.7 Configuraciones y calidad de funcionamiento de la antena transmisora**

Los haces de antena más estrechos con mayores niveles de ganancia tienden a asociarse con una mayor eficiencia espectral. Los diagramas de antena que se configuran y orientan electrónicamente pueden proporcionar más eficiencia espectral que los diagramas de antena estáticos. La caracterización precisa de los patrones de antena debe ser una parte importante de la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

#### **3.1.3.1.8 Control definido por *software* del transmisor**

El control definido por *software* (SDC) puede permitir modificaciones dinámicas de las configuraciones de los transmisores, lo que a su vez puede mejorar su eficiencia espectral. El control definido por *software* de los modos de funcionamiento del transmisor puede contribuir a mejorar la compartición entre sistemas radioeléctricos y debe incluirse en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral siempre que sea aplicable.

#### **3.1.3.1.9 Control dinámico del transmisor para la compartición del espectro**

Las métricas de eficiencia espectral han incluido tradicionalmente factores como la anchura de banda por usuario y por unidad de superficie servida. También han incluido factores relativos a la anchura de banda entre canales (por ejemplo, cuán estrechos pueden ser los canales de comunicación y hasta qué punto pueden espaciarse entre sí). A este respecto, conviene tener en cuenta un factor totalmente nuevo: el potencial de compartición (o la inexistencia de ese potencial) entre distintos tipos de sistemas. Es concebible, por ejemplo, que un Sistema A que tenga en cierto sentido mucha eficiencia espectral no comparta, o no comparta bien, el espectro con otro tipo de sistema, el Sistema B. Así, el propio Sistema A tiene un funcionamiento excelente en cuanto a la utilización del espectro, pero exige una atribución exclusiva o casi exclusiva de frecuencias. Consideremos, sin embargo, que un tercer sistema, el Sistema C, es comparativamente menos eficiente que el Sistema A, pero que los Sistemas B y C pueden compartir bien entre sí el espectro. No exigen atribuciones o asignaciones exclusivas de espectro, sino que lo comparten. ¿Cómo se debe evaluar la eficiencia del Sistema A (alta si se considera aisladamente, pero con poco o nulo potencial de compartición), frente a los Sistemas B y C, cada uno de ellos menos eficiente individualmente pero con buena capacidad de compartición entre sí? La cuestión de cómo tener en cuenta el control dinámico en la compartición de espectro entre distintos tipos de sistemas radioeléctricos debe abordarse en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

#### **3.1.3.2 Parámetros del receptor que deben tenerse en cuenta en las métricas de eficiencia espectral**

Los receptores son tan importantes como los transmisores para las evaluaciones de la eficiencia espectral. La mayoría de las características del transmisor que deben evaluarse en los estudios de eficiencia espectral tienen su correlato en las características análogas (o inversamente análogas) de eficiencia espectral del receptor. Se describen a continuación.

### **3.1.3.2.1 Características de sobrecarga del receptor**

Todos los receptores se sobrecargan a cierto nivel de potencia de entrada. Los umbrales de sobrecarga más bajos pueden asociarse a una menor eficiencia espectral. En futuros estudios de eficiencia espectral, deben evaluarse las características de sobrecarga (como la compresión de 1 dB y los niveles de potencia de saturación dinámica final) de todos los receptores. Como esos datos a menudo se desconocen, es posible que deban determinarse mediante campañas de medición que respalden la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.2.2 Anchura de banda del receptor**

Según los principios básicos de la teoría de la ingeniería eléctrica, la anchura de banda del receptor debe coincidir con la del transmisor para que la eficiencia espectral sea óptima. Sin embargo, hay casos en que la anchura de banda del receptor debe superar sustancialmente el requisito de una modulación determinada. Un ejemplo es un receptor que debe lograr excelentes características de fase; para ello es necesario que no se utilice un filtrado abrupto y que la anchura de banda del receptor sea mayor que la de la señal que se recibe. Tales características y requisitos deben evaluarse, notificarse y utilizarse en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.2.3 Sensibilidad del receptor**

La sensibilidad del receptor es la aproximación del ruido del receptor a los límites teóricos impuestos por las leyes de la termodinámica. Aunque la alta sensibilidad (aproximación a un límite termodinámico) suele considerarse algo positivo en el diseño de radiocomunicaciones, también puede hacer que las señales no deseadas y el ruido afecten negativamente al diseño del receptor a niveles de potencia recibida relativamente bajos (no obstante, téngase en cuenta que la sensibilidad del receptor a veces no es tan importante como la relación entre la potencia de la señal deseada y el nivel de ruido interno propio del receptor). La sensibilidad del receptor es un factor de suma importancia para saber a qué niveles se producirán interferencias perjudiciales de señales no deseadas y ruido. En muchos casos, puede ser necesario medirlo, ya que no siempre es un dato conocido para todos los sistemas receptores. En cualquier caso, es preciso caracterizar este parámetro para todos los receptores examinados en el proceso de elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.2.4 Agilidad de frecuencia del receptor**

La agilidad de frecuencia del receptor debe estar en consonancia con la agilidad del transmisor; una mayor agilidad se asocia a una mayor eficiencia espectral. Las capacidades de agilidad de frecuencia deben incluirse para cada sistema radioeléctrico en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.2.5 Capacidad de rechazo de interferencias del receptor**

Las curvas de respuesta del paso de entrada de radiofrecuencia del receptor y de la frecuencia intermedia pueden repercutir significativamente en la inmunidad a la interferencia y, por lo tanto, en la eficiencia espectral. Lamentablemente, las curvas de respuesta no suelen estar disponibles para muchos receptores radioeléctricos, quizá para la mayoría. Siempre que sea posible, deben utilizarse las curvas de respuesta reales en la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral.

### **3.1.3.2.6 Características de filtrado y rechazo del canal adyacente del receptor**

A grandes rasgos, cuanto mejores (más ajustadas) sean las características de filtrado y rechazo del canal adyacente de un receptor, mejor será su eficiencia espectral. Sin embargo, se han dado casos en que el rendimiento de los receptores con una anchura de banda menor (por ejemplo, canales de radiocomunicaciones móviles terrestres de 12,5 kHz sustituidos por canales de 6,25 kHz) ha proporcionado beneficios de eficiencia espectral ilusorios, porque el rechazo del canal adyacente de los sistemas radioeléctricos era tan precario que la implantación real de la canalización del sistema

tuvo que limitarse a una separación entre canales de 12,5 kHz. Así pues, aunque este parámetro debe formar parte de la elaboración de futuras métricas de eficiencia espectral, no debe incluirse tomando su valor nominal. Debe incluirse junto con un factor de corrección igual o superior a la unidad (por ejemplo, un factor de corrección de 1,8 multiplicado por la anchura del canal) para reflejar la separación real que puede alcanzarse entre canales.

### 3.1.3.2.7 Rendimiento de la antena receptora

A mayor ganancia (direccionalidad) de las antenas receptoras, mejor suele ser la eficiencia espectral de un sistema. La configuración y orientación electrónicas del haz para seguir las señales transmitidas pueden proporcionar una mejor eficiencia espectral, aunque a costa de una mayor complejidad del sistema. La orientación del haz y el control de ganancia por medios electrónicos pueden mejorar significativamente la eficiencia espectral de los receptores, al proporcionar más ganancia a las señales deseadas y rechazar al mismo tiempo la energía de las señales no deseadas y el ruido. Las futuras métricas de eficiencia espectral deben incluir factores que tengan en cuenta la formación del haz de la antena y su rendimiento, así como las ventajas del control electrónico del haz.

### 3.1.3.2.8 Control del receptor definido por *software*, lo que incluye factores de conocimiento de la ubicación, detección del entorno e información de bases de datos

El control de los receptores definido por *software* permite modificaciones de configuración controladas dinámicamente, que pueden mejorar la eficiencia espectral de los transmisores. Esta característica de algunos receptores modernos tiene un gran potencial para mejorar la eficiencia espectral. Hay dos entornos fundamentales de control definido por *software* que deben tenerse en cuenta: la compartición entre sistemas y servicios radioeléctricos en la que ambas partes del acuerdo de compartición utilizan un control definido por *software*, frente a la compartición en la que solo una parte de la compartición utiliza sistemas radioeléctricos con ese tipo de control. El primer caso sería aplicable a las bandas en las que no hay sistemas establecidos y la ingeniería de compartición se está creando desde cero. El segundo caso, más probable en general, es aquel en el que los sistemas establecidos que no disponen de funciones de control definido por *software* deben compartir espectro con sistemas más recientes que sí disponen de control definido por *software*. En esta situación más común, las funciones de control definido por *software* de los sistemas radioeléctricos más recientes pueden utilizarse para que operen junto a los sistemas establecidos en la misma banda. En ambos casos, el control definido por *software* puede incluir factores de conocimiento de la ubicación, detección del entorno e información de bases de datos. Las futuras métricas de la eficiencia espectral deben tener en cuenta de forma destacada el uso del control definido por *software* como factor, especialmente en los escenarios de compartición.

## 3.2 Estudio de caso 2

De conformidad con la Recomendación UIT-R SM.1046-3, el dominio combinado anchura de banda-espacio-tiempo debe utilizarse como medida de la utilización del espectro, el «factor de utilización del espectro»; y la base para calcular la eficacia de utilización del espectro (EUE), también denominada eficacia o eficiencia espectral para abreviar, sea la determinación del efecto útil que consiguen los sistemas de radiocomunicación mediante la utilización del espectro y el factor de utilización del espectro. Evidentemente, la eficacia (de utilización) del espectro está relacionada con los efectos útiles. Algunas administraciones han realizado estudios sobre los factores clave para la evaluación de la eficiencia espectral, respecto de los cuales se aportan más detalles en el Anexo 4 a este Informe.

#### **4 Estimación del valor económico del espectro**

En esta sección se analizan brevemente algunos ejemplos de factores que pueden influir en el valor del espectro. A título meramente informativo, se facilitan algunos estudios de casos que figuran en el Anexo 2 al presente Informe.

Los recursos de espectro radioeléctrico son un importante factor de producción que promueve el desarrollo social. Con la consolidación de las reformas económicas en varios países y el rápido desarrollo de la industria de las radiocomunicaciones, la opinión pública ha reconocido paulatinamente la idea de que la frecuencia radioeléctrica tiene valor como recurso. La forma de gestión de los recursos espectrales a través de medios de intervención administrativa es desequilibrada en cuanto a la eficacia de utilización del espectro y la distribución empresarial poco razonable, etc. La contradicción se ha hecho cada vez más patente, lo que afecta gravemente al desarrollo de las industrias conexas. Ya en la década de 1970, algunos países empezaron a estudiar la teoría y los métodos de comercialización de los recursos del espectro y, más recientemente, han creado un mecanismo eficaz de subasta de recursos de espectro.

La estimación del valor económico del espectro es muy complicada. Existen distintos métodos para calcular ese valor, pero no existe ninguna norma aplicable a todos los países. Hay numerosos factores que afectan al valor del espectro. Esta sección se centra en los dos aspectos siguientes: los factores de influencia basados en el mercado y los factores de influencia no basados en el mercado. Los factores de influencia basados en el mercado tienen en cuenta principalmente a los usuarios ya establecidos, los costos de liberación de espectro, la duración de la licencia, la ubicación, la banda de frecuencias radioeléctricas y la utilización. Los factores de influencia no basados en el mercado consisten principalmente en el factor político, el factor característico de la frecuencia, el factor de madurez de la industria, el tipo de industria y la escala de usuarios, así como los beneficios sociales e indirectos. Al mismo tiempo, se enumeran algunos modelos de valoración económica del espectro propuestos por las autoridades competentes.

#### **4.1 Ejemplos de factores que influyen en el valor del espectro**

##### **4.1.1 Factores de influencia basados en el mercado**

El precio de un recurso en el mercado abierto viene determinado por su demanda y por la oferta disponible.

Al plantear una posible reasignación de espectro, hay que tener en cuenta factores como las utilidades primarias, los costos de la liberación, la banda de frecuencias y las nuevas utilidades posibles. Estos factores se describen a continuación.

##### **4.1.1.1 Utilidades primarias**

Por utilidades primarias se entienden los sistemas que ya funcionan en la banda de frecuencias considerada. Al plantear una posible reasignación de espectro, hay que evaluar el valor de una banda en su utilización actual en relación con otras utilidades posibles.

##### **4.1.1.2 Costos de liberación de espectro**

Al plantear la reasignación de una banda, hay que tener en cuenta el costo de su liberación, ya sea reubicando a los operadores establecidos o abonándoles incentivos dinerarios para que dejen de operar.

#### **4.1.1.3 Duración de la licencia**

El factor tiempo incluye el periodo de licencia de espectro. Las tecnologías radioeléctricas tienen distintos periodos óptimos de licencia. Cuanto mayor sea la duración del periodo de licencia, más eficiente será la utilización del espectro mientras la licencia esté vigente, ya que la tecnología se mantendrá relativamente estable. En ese caso, el espectro mostrará un valor mayor.

#### **4.1.1.4 Ubicación**

El número de usuarios potenciales de un servicio radioeléctrico en una zona de licencia es uno de los principales factores que determinan la demanda de espectro en esa zona. La demografía y el nivel de desarrollo económico también influyen. Por el lado de la oferta, el costo del despliegue del sistema depende de la topografía, de la disponibilidad de insumos como fibra y electricidad, y del costo de adquisición de emplazamientos para torres.

#### **4.1.1.5 Banda de de frecuencias radioeléctricas**

Las bandas de frecuencias difieren en cuanto a las características de cobertura, penetración en muros e idoneidad para distintas utilidades.

Además, cada banda de frecuencias tiene sus propias características de propagación de las ondas radioeléctricas. Las bandas de frecuencias más bajas permiten zonas de servicio más amplias de los sistemas radioeléctricos y, en consecuencia, el operador necesita menos torres para dar cobertura a todo el territorio en comparación con las bandas de frecuencias más altas. Cuanto mayor sea la anchura de banda de frecuencias, más información se podrá transmitir con un costo determinado, lo que puede aportar más valor.

El factor de la frecuencia puede medirse a partir de la frecuencia, la anchura de banda y la interferencia del canal adyacente.

#### **4.1.1.6 Utilización**

Además de la frecuencia y la anchura de banda, las posibles utilidades de una banda dependen de cuestiones reglamentarias y comerciales. La reglamentación puede atribuir espectro para una utilización flexible (que permita tanto servicios móviles como fijos) o restringido a un único fin, como la radiodifusión de televisión. A igualdad de condiciones, una mayor diversidad de utilidades aumenta el valor del espectro. La disponibilidad y el costo de los dispositivos que pueden operar en una banda también afectan a su valor. Por ejemplo, una banda tendrá mayor valor en la medida en que se utilice internacionalmente para el servicio móvil y exista una amplia disponibilidad de dispositivos móviles a bajo costo. Las nuevas tecnologías radioeléctricas pueden mejorar la utilización del espectro, aumentar su eficiencia o crear nuevos servicios innovadores de gran valor económico. El factor tecnológico influye en la evaluación de la eficiencia y el valor económico del espectro.

#### **4.1.1.7 Opción de renuncia al espectro**

La subasta de espectro en varios países ha adoptado el método de pago fraccionado, ya que ofrece la posibilidad de aumentar el gasto de capital del operador. Con la rápida evolución de las tecnologías, resulta difícil prever la utilidad de una banda a largo plazo. Esto ha generado la necesidad de que los operadores puedan salir del espectro adquirido y ahorrarse los futuros pagos fraccionados. Estas disposiciones pueden afectar al valor económico del espectro.

#### 4.1.1.8 Opción de arrendamiento de espectro

Con la llegada de la tecnología 5G, aumenta la demanda de espectro de la industria para uso privado. La opción de arrendamiento de espectro por los proveedores de servicios de telecomunicaciones (operadores de redes móviles) a usuarios privados industriales abrirá una fuente de ingresos adicional para los proveedores de servicios de telecomunicaciones. Esta opción también beneficiará al usuario privado industrial para satisfacer sus necesidades de espectro en sus procesos de automatización, etc. Esta disposición puede afectar a la eficiencia del espectro y a su valor económico.

#### 4.1.2 Factores de influencia no basados en el mercado: «concursos de belleza» o audiencias comparativas

En un proceso comparativo, se comparan formalmente las calificaciones de cada competidor solicitante de espectro sobre una base de criterios establecidos y publicados a nivel nacional (generalmente, estos criterios pueden incluir la población a la que se prestará servicio, la calidad del servicio y la celeridad en la implantación de este). La autoridad de gestión del espectro determina quién es el solicitante más calificado para utilizar el espectro y le adjudica la licencia.

A través de la adjudicación de espectro, la labor más importante de la administración nacional es determinar un canon de licencia, que depende de varios factores.

##### 4.1.2.1 Políticas

El factor de las políticas influye en el canon de licencia de espectro. Cuanto mayor sea la *flexibilidad* de las condiciones de la licencia, mayor será el valor del espectro. Cuanta más flexibilidad se conceda a los titulares de licencias para aplicar nuevas técnicas y lanzar nuevas aplicaciones, mayor será el valor de la licencia (y del espectro).

##### 4.1.2.2 Características de frecuencia

Las distintas bandas de frecuencia presentan características diferentes, como la propagación y la pérdida de trayecto. En función de los distintos servicios, hay diferentes características que influyen en el cálculo del canon.

##### 4.1.2.3 Madurez del sector

Durante la adjudicación de una licencia de espectro, debe tenerse en cuenta el factor de madurez del sector para determinar un canon de licencia adecuado.

La madurez industrial refleja la plenitud del desarrollo industrial y puede dividirse en cuatro etapas, a saber: la etapa embrionaria, la etapa de incubación, la etapa de desarrollo y la etapa de madurez. La etapa embrionaria es aquella en que la industria está dominada por la investigación y el desarrollo tecnológicos; la actividad principal consiste en llevar a cabo la investigación básica y el desarrollo de la tecnología. La etapa de incubación consiste en el cultivo de una industria impulsada por la tecnología, lo que indica si el producto o servicio ha logrado una aplicación comercial. Con la promoción de las aplicaciones comerciales, se confirman las ventajas de los productos o servicios en términos de rendimiento y costo. La fase de desarrollo es una etapa de rápido desarrollo de la industria impulsada por el mercado. Después de una exitosa promoción y demostración en el mercado a gran escala, cuando se logra atraer a un gran número de competidores que entran en el mercado, el volumen de ventas de productos o servicios puede mantener una tasa de crecimiento relativamente elevada durante un periodo. La etapa de madurez es la etapa de desarrollo industrial dominada por la cadena industrial, que determina la formación básica de la cadena industrial, la aplicación de normas industriales y la mejora de la cadena industrial.

En la etapa embrionaria de la industria, se trata principalmente de realizar trabajos de investigación técnica, con la posibilidad de promover el desarrollo de la tecnología mediante el uso de frecuencias de prueba. En la etapa de incubación industrial, la escala de la industria es relativamente pequeña. Con el fin de promover la formación de la industria y estimular su desarrollo, puede reducirse adecuadamente el canon de licencia de espectro. En la etapa de desarrollo industrial, la rápida evolución de la industria incrementa el valor económico del espectro, de modo que pueden aumentarse los cánones de licencia de espectro en la proporción adecuada para mejorar la eficiencia de la utilización del espectro. En la etapa de madurez industrial, se aplican normas industriales y el espectro está estrechamente relacionado con la oferta y la demanda de productos o servicios, por lo que el valor económico del espectro se determina teniendo en cuenta el valor de la industria.

#### **4.1.2.4 Tipo de industria y escala de usuarios**

Los distintos sectores tienen necesidades y aplicaciones diferentes para los recursos espectrales. Algunas industrias presentan un alto grado de dependencia de los recursos espectrales, como las comunicaciones móviles públicas, la aviación civil y los buques de navegación. Una característica distintiva de estas industrias es el alto grado de asociación con las frecuencias radioeléctricas. Otras industrias utilizan menos recursos espectrales y disponen de medios de comunicación cableados distintos de la radiocomunicación, por lo que el grado de asociación no es elevado. En el campo de las aplicaciones radioeléctricas, los licitadores pueden proceder de distintos sectores.

Por lo tanto, el tamaño de los usuarios también varía. Algunos licitadores tienen menos usuarios, pero necesitan más recursos espectrales. En este caso, hay que tener en cuenta el tamaño de los usuarios para determinar la ventaja competitiva del licitador.

#### **4.1.2.5 Beneficios sociales e indirectos**

Los beneficios sociales e indirectos son factores importantes para evaluar la importancia de la autorización del espectro radioeléctrico. Estos factores repercuten en el desarrollo socioeconómico y en los sentimientos de felicidad y comodidad de los usuarios. No obstante, estos beneficios son difíciles de calcular y de plasmar en indicadores cuantitativos. Es sabido que los beneficios sociales e indirectos son factores de referencia importantes para que la administración de radiocomunicaciones autorice el espectro. Especialmente en el caso de las licitaciones comparativas sin criterios de precios (también denominadas «concursos de belleza»), los departamentos de gestión deben evaluar los beneficios sociales e indirectos de los recursos espectrales atribuidos.

## **4.2 Pueden utilizarse modelos para estimar el valor del espectro (solo a título informativo)**

Durante el estudio, las administraciones propusieron algunos modelos (véanse más detalles en los Anexos a este Informe) que pueden utilizarse para estimar el valor del espectro.

Sin embargo, los modelos utilizados para calcular el valor económico del espectro dependen de muy diversos factores (como los servicios radioeléctricos, la anchura de banda, las zonas de servicio, la banda de frecuencias, el emplazamiento de la banda de frecuencias, la situación económica del país en el que se va a realizar la evaluación, etc.), así como de criterios que difícilmente podrían aplicarse con carácter global a todos los países. Así pues, esos elementos y esa información son un mero reflejo de los puntos de vista del miembro contribuyente, y pueden no ser necesarios para examinar la situación de otros países.

Por consiguiente, los Anexos a este Informe se consideran meramente informativos.

## 5 Resumen

En el marco de este Informe se han realizado estudios de casos pertinentes sobre la evaluación de la eficiencia espectral y la estimación del valor económico del espectro, con el fin de proporcionar información a diversas autoridades competentes para mejorar la utilización de la escasez de recursos espectrales, medir el efecto impulsor del espectro en la economía nacional y formular y planificar el espectro nacional. Por supuesto, es necesario tener en cuenta que los países pueden tener diferentes mecanismos de evaluación de la eficiencia y del valor económico del espectro.

## Anexo 1

### Estudio de caso sobre la estimación del valor del espectro a través del PIB

#### 1 Análisis de la contribución económica directa al PIB

Dado que el servicio de comunicaciones y el servicio de radiodifusión pueden alcanzar cierto volumen de negocio, la contribución económica directa al PIB se refiere principalmente a estos dos servicios.

Por lo que respecta al servicio de comunicaciones, los ingresos de las empresas provienen del servicio de comunicaciones locales fijas, del servicio de comunicaciones móviles y del servicio de comunicaciones por satélite. En particular, el servicio de comunicaciones móviles y el servicio por satélite se basan en el espectro radioeléctrico. La contribución económica directa del servicio de comunicaciones al PIB se define del siguiente modo:

$$C1: (\text{ingresos del servicio de comunicaciones móviles} + \text{ingresos del servicio de comunicaciones por satélite}) / \text{PIB del mismo año} \times 100\% \quad (\text{A1-1})$$

donde:

*C1*: contribución directa del servicio de comunicaciones al PIB.

Respecto del servicio de radiodifusión, la contribución económica directa al PIB puede definirse del siguiente modo:

$$C2: \text{ingresos de la radiodifusión} / \text{PIB en el mismo año} \times 100\% \quad (\text{A1-2})$$

donde:

*C2*: contribución directa del servicio de radiodifusión al PIB.

#### 2 Análisis de la contribución extraeconómica al PIB

En el caso de los servicios de comunicaciones y de radiodifusión, se da por supuesto que la función de influencia de la contribución de la industria al PIB es  $Y = f(X, \text{Con})$ . En la función, *Y* significa PIB; *Con* es el factor de influencia en el PIB exceptuando el servicio de comunicaciones y de radiodifusión; *X* denota la contribución del servicio de comunicaciones y de radiodifusión al PIB. Se pueden utilizar las siguientes ecuaciones matemáticas:

$$\ln Y = \text{Con} + \beta \ln X + \varepsilon \quad (\text{A1-3})$$

Los coeficientes  $\beta$  y  $\varepsilon$  se pueden obtener mediante un análisis de regresión lineal unitaria y los datos anuales de los ingresos de los servicios de comunicaciones y de radiodifusión y el PIB del mismo año. Por medio del análisis de regresión lineal unitaria, se puede estimar la relación entre el servicio de comunicaciones y de radiodifusión y el PIB.

Para calcular los beneficios económicos aportados por la implantación de las nuevas tecnologías inalámbricas en las industrias tradicionales, se puede valorar la promoción del volumen de producción de las industrias tradicionales en las que se han implantado las nuevas tecnologías inalámbricas. A continuación se detalla la metodología.

En el campo de la economía se utiliza a menudo una ecuación universal<sup>2</sup> para calcular la cantidad de producción. Es decir, la cantidad de producción dentro del periodo  $t$  puede expresarse como:

$$OTP_t = HA_t \times f(CAP_t^{WTA}, CAP_t^{NWT A}, LAB_t, MID_t) \quad (A1-4)$$

donde:

- $OTP_t$ : la producción del periodo  $t$
- $WTA$ : aplicación de tecnologías inalámbricas
- $HA_t$ : factor de progreso técnico en el periodo  $t$
- $CAP_t^{WTA}$ : el capital del aspecto de  $WTA$  invertido en industrias tradicionales durante el periodo  $t$  (importe detallado en yuanes chinos, dólares estadounidenses, francos suizos, etc.)
- $CAP_t^{NWT A}$ : el capital del aspecto no  $WTA$  invertido en las industrias tradicionales durante el periodo  $t$
- $LAB_t$ : el capital del aspecto de trabajo invertido en las industrias tradicionales
- $MID_t$ : el capital del aspecto de los productos intermedios invertido en las industrias tradicionales.

Tras la pertinente transformación de la ecuación matemática<sup>3</sup>, la ecuación (A1-4) pasa a tener la siguiente formulación:

$$d(OTP_t) = d(HA_t) + \alpha_{CAP_t^{WTA}} \times d(CAP_t^{WTA}) + \alpha_{CAP_t^{NWT A}} \times d(CAP_t^{NWT A}) + \alpha_{MID_t} \times d(MID_t) + \alpha_{LAB_t} \times d(LAB_t) \quad (A1-5)$$

donde:

- $d(OTP_t)$ : el diferencial de la escala de producción económica de toda la sociedad en el periodo  $t$
- $\alpha_{xx}$ : el factor de contribución, que indica la variación de la cantidad de producción total causada por el cambio de insumos por cada unidad de capital dentro del aspecto  $xx$  de los factores de producción.

Por ejemplo,  $\alpha_{CAP_t^{WTA}}$  indica la variación de la cantidad de producción total causada por el cambio de insumos por cada unidad de capital dentro del aspecto  $WTA$ .

- $\alpha_{xx}$ : puede obtenerse mediante la transformación de la matriz inversa de Leontief<sup>4</sup> en el cuadro de insumos y productos (*input-output*)<sup>5</sup>.

<sup>2</sup> Referencia: Sun Linlin, Zheng Haitao, Ren Ruoan. *The Contribution of Informatization to China's Economic Growth: Empirical Evidence from Industry Panel Data* [J]. World Economics, 2012, 000(002): 3-25

<sup>3</sup> Referencia: véase también la referencia anterior.

<sup>4</sup> Véase: [https://es.eustat.eus/documentos/elem\\_15552/definicion.html](https://es.eustat.eus/documentos/elem_15552/definicion.html).

<sup>5</sup> Véase: [https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo\\_input-output](https://es.wikipedia.org/wiki/Modelo_input-output).

Tras realizar una integral discreta a la ecuación (A1-5), puede obtenerse la correspondiente variación de la producción total causada por la aplicación de WTA a las industrias tradicionales, que puede expresarse del siguiente modo:

$$OTP_t^{WTA} = \sum_t^T CAP_t^{WTA} \times \alpha_{CAP_t^{WTA}} \times PPI \quad (A1-6)$$

En la ecuación (A1-6) se ha tenido en cuenta el índice de precios de producción (IPP)<sup>6</sup> para reflejar la situación real de los factores de inflación.

$OTP_t^{WTA}$ : variación de la producción total causada por la aplicación de WTA a las industrias tradicionales

$T$ : vida útil máxima de los equipos correspondientes al capital invertido.

Para utilizar la ecuación (A1-6) de forma práctica, debe calcularse  $CAP_t^{WTA}$  de manera específica.

Aquí, a partir de la teoría económica del «método de existencias perpetuas», se puede estimar  $CAP_t^{WTA}$  añadiendo una función hiperbólica de tiempo-eficiencia, expresada finalmente así:

$$CAP_t^{WTA} = \sum_{x=0}^T I_{t-x} h_x F(x) \quad (A1-7)$$

donde:

$I_{t-x}$ : inversión de capital de WTA durante el periodo t-x, en industrias tradicionales

$h_x$ : una función hiperbólica de tiempo-eficiencia, que puede reflejar la pérdida de capacidad de producción de la inversión de capital de WTA en comparación con el tiempo:

$$h_x = (T - x)/(T - 0,8x) \quad (A1-8)$$

$x$ : duración de la utilización de los equipos pertenecientes al capital invertido dentro del aspecto de WTA en las industrias tradicionales

$F(x)$ : función de distribución de la probabilidad de distribución normal:

$$F_i(x) = \int_0^x \frac{1}{\sqrt{2\pi \times 0,5}} e^{-\frac{(x-u_i)^2}{0,5}} dx \quad (A1-9)$$

$\mu$ : esperanza de vida útil de los equipos, y la vida útil máxima es 1,5 veces la de  $u_i$ , y la varianza de esta distribución es 0,25

$i$ : representa diversos tipos de equipos, que pueden ser 1,2,3..., lo que representa el *hardware*, el *software* y los equipos de comunicaciones.

---

<sup>6</sup> *IPP*: el índice de precios a la producción, anunciado habitualmente por los gobiernos de los distintos países.

## Anexo 2

### Estudio de caso sobre la evaluación del valor del espectro a través de los parámetros de los sistemas

Las tarifas de los servicios móviles terrestres públicos, por ejemplo, pueden representarse mediante las formas funcionales generales:

$$F = f(B, C, S, E, FR, FP, FI) \quad (A2-1)$$

donde:

- F*: tasa aplicada al concesionario del servicio móvil terrestre;
- B*: anchura de banda;
- C*: zona de cobertura;
- S*: ubicación del emplazamiento;
- E*: exclusividad de uso;
- FR*: frecuencia;
- FP*: coeficiente de las políticas de la administración;
- FI*: coeficiente de madurez de la industria.

## Anexo 3

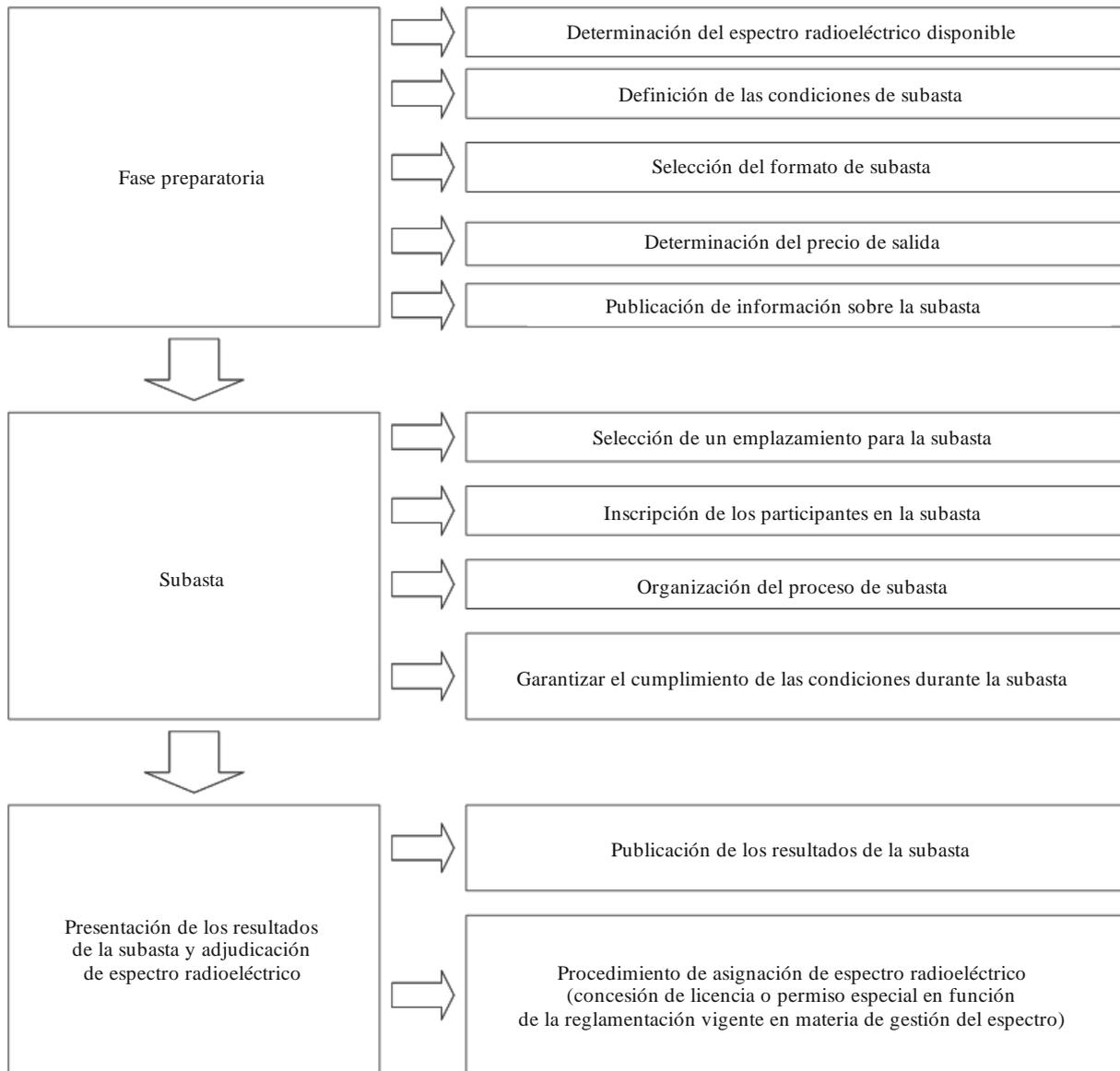
### Estudio de caso sobre la evaluación del valor del espectro basada en los resultados de las subastas de espectro

La subasta permite asignar el espectro a aquellos participantes en el mercado para los que tiene mayor valor.

El procedimiento detallado de las subastas de espectro puede consultarse en el Adjunto al Anexo.

La Fig. A3-1 muestra el procedimiento general de organización de la subasta.

FIGURA A3-1

**Procedimiento general de organización de la subasta de espectro**

Informe SM.2523-A3-01

El procedimiento de subasta consta de tres fases.

La primera fase es preparatoria. En ella, el organizador de la subasta determina la cantidad de recursos de espectro radioeléctrico disponible que podrían subastarse. El espectro radioeléctrico disponible se determina teniendo en cuenta el Reglamento de Radiocomunicaciones, el Cuadro nacional de atribución de frecuencias y los planes de utilización futura (si existen).

Además, el organizador de la subasta establece las condiciones de la subasta: composición de los lotes, determinación del precio de salida y ajuste del incremento de la subasta. Véanse más detalles sobre las posibles condiciones en el § 1 del Adjunto 1 al presente Anexo.

En esta fase también se determina el formato de la subasta. Los formatos de subasta se describen en el § 2 del Adjunto 1 al presente Anexo.

El organizador de la subasta pone a disposición del público las condiciones establecidas para la subasta.

La segunda fase es la subasta propiamente dicha.

A continuación, debe seleccionarse el mercado electrónico para la subasta (el costo del alquiler del mercado se compensará con los ingresos de la subasta).

El organizador de la subasta registra a los participantes, verifica su solvencia, acepta depósitos (si están previstos en las condiciones de la subasta), organiza el proceso de subasta y garantiza el cumplimiento de las condiciones durante el proceso.

En la tercera fase, el organizador presenta y publica los resultados de la subasta, anuncia el ganador y el valor del lote adjudicado, devuelve los depósitos (si así lo establecen las condiciones de la subasta) y concede los documentos de autorización para la utilización del espectro.

## **Adjunto 1 al Anexo 3**

### **Procedimiento detallado de las subastas de espectro**

#### **1 Factores que afectan a las subastas**

Las condiciones de la subasta pueden repercutir mucho en sus resultados.

Al preparar una subasta, es razonable tener en cuenta las particularidades y condiciones de un tipo de subasta concreto.

Cabe destacar los siguientes factores que determinan la selección de un tipo concreto de subasta de espectro y que deben tenerse en cuenta [P. Crampton, *Auctioning the Digital Dividend*, 2009; P. Crampton, *Spectrum Auctions*, University of Maryland, 2001; R. Preston McAfee, *The Greatest Auction in History*, 2009; P. Cramton, *Spectrum Auction Design*, 2012]:

- disponibilidad de información sobre las ofertas de los demás participantes en la subasta;
- necesidad de determinar la secuencia de colocación de lotes en subasta;
- posibilidad de pujar por un conjunto de lotes;
- discreción de las rondas;
- determinación del número de lotes;
- determinación de la cantidad máxima de espectro que puede adquirir un participante;
- determinación del precio de salida, la cuantía del depósito, el incremento y el número de rondas;
- normas de pago;
- condiciones especiales para participantes individuales;
- condiciones de anulación de pujas;
- normas de participación en la subasta;
- normas para completar la subasta.

Las subastas pueden organizarse en formato abierto o en plica dependiendo de *la disponibilidad de información sobre las pujas de los demás participantes*.

Una subasta en plica significa que cada empresa hace una sola oferta y que la información sobre las pujas no está disponible para los demás participantes. Esto ayuda a evitar la colusión entre participantes. Este tipo de subasta puede reportar grandes ingresos, cuando los supuestos participantes no son *a priori* iguales. Una gran empresa solo puede obtener un lote si puja muy alto.

Una subasta abierta significa que los participantes conocen las ofertas de los demás. De este modo, pueden analizar el comportamiento de los competidores durante la subasta. Esto permite adjudicar licencias de forma más eficiente, ya que los participantes disponen de una gran cantidad de información para tomar una decisión. Sin embargo, el riesgo de colusión entre empresas para reducir el precio es mayor.

Desde el punto de vista de la *secuencia de colocación de licencias para subasta*, esta puede organizarse en formato consecutivo o simultáneo.

En el formato consecutivo las licencias se organizan y venden una tras otra durante una serie de subastas. Este formato presenta varios inconvenientes.

En primer lugar, la principal dificultad de organizar subastas consecutivas es determinar el orden de venta de las licencias. Ordenar los lotes según cualquier criterio puede dar ventaja a algunos participantes, lo que supone una pérdida de objetividad en la adjudicación de licencias.

En segundo lugar, con la venta consecutiva de licencias, la información de que dispone el participante y las posibilidades de utilizarla son limitadas. Cuando una empresa puja por un lote, es importante prever los precios de los lotes que se subastarán posteriormente. Esto complica enormemente las estrategias de los participantes y reduce la eficacia de la subasta. En este sentido, una subasta consecutiva puede resultar ineficaz cuando se subastan lotes idénticos o complementarios.

En tercer lugar, existe una limitación en cuanto a la cantidad de información que reciben los operadores durante la propia subasta. Esto se debe a que, al adquirir licencias para la utilización del espectro radioeléctrico, las empresas adoptan o modifican decisiones sobre pujas por valor de cientos de millones de dólares. Estas decisiones suelen requerir varios días o incluso semanas de análisis por parte de la alta dirección. Dado que la organización de una subasta consecutiva implica la venta de varias licencias a lo largo del día, los participantes no tienen la oportunidad de utilizar rápidamente la información recibida. En consecuencia, las empresas tienen que utilizar una serie de estrategias predeterminadas, y esto puede afectar negativamente a los resultados de la subasta.

El formato simultáneo de la subasta implica la venta simultánea de varios lotes.

La principal ventaja de este tipo de subasta es que permite a los participantes recibir y utilizar rápidamente la información, así como cambiar de un lote a otro. Cuando el precio de una licencia resulta demasiado alto para un comprador, puede pasar a centrarse en otra licencia, con una pequeña penalización en el peor de los casos.

La siguiente condición importante para la subasta es la *posibilidad de pujar por un conjunto (paquete) de lotes*. La subasta, en la que un participante puede pujar por un conjunto de licencias en lugar de por una licencia individual, se describe como combinatoria. Inicialmente se propuso:

- 1) permitir pujar por cualquier número de licencias y cambiar la puja mediante subasta simultánea de varias rondas hasta el final de la subasta, o bien
- 2) permitir pujar por varias licencias regionales y una nacional.

Esta forma de subasta permite a los licitadores expresar directamente sus deseos: una empresa puja por un número de licencias que necesita como lote único. Al mismo tiempo, las subastas combinatorias son más complejas debido al gran número de combinaciones posibles.

Una razón importante a favor de este formato de subasta es el hecho de que el precio que un participante está dispuesto a pagar por la licencia puede depender de otras licencias de las que puede haber sido adjudicatario. Por ejemplo, si una empresa obtiene una licencia en una zona, las licencias

en otras zonas serán más caras. Así pues, para las empresas es más importante la posibilidad de pujar por un conjunto de licencias que por licencias individuales. En este caso, obtienen todo o nada, y sería improbable que la empresa participante completara la subasta tras adjudicarse solo una parte de lo que desea. Cuando se subastan licencias individuales, puede ocurrir que una empresa no pueda comprar lotes primarios, pero sí lotes secundarios. De otro modo, para comprar los lotes necesarios, tendrá que pagar una cuantía mayor de lo previsto.

La falta de posibilidad de realizar pujas por un conjunto de lotes puede restar eficacia a la subasta.

La dificultad de organizar una subasta de este tipo radica en que, cuando hay numerosos lotes y licitadores y cualquier combinación es aceptable, resulta prácticamente imposible identificar las adjudicaciones que maximizarían el beneficio. La restricción de las opciones aceptables para organizar los lotes en un conjunto puede ser una solución para este problema, pero muchas combinaciones deseadas podrían quedar excluidas involuntariamente.

La expresión *discreción de rondas* se entiende como una limitación del tiempo durante el cual un participante puede pujar. Según este parámetro, las subastas pueden dividirse en dos tipos: subastas con rondas discretas y subastas continuas.

En el primer caso, el tiempo asignado a los participantes para pujar es fijo. En el segundo caso, el tiempo no es fijo y las empresas lo controlan según sus preferencias. En un caso podrían pujar rápidamente, pero en situaciones complicadas podrían necesitar un intervalo de tiempo mayor. Las rondas discretas son más sencillas de organizar y establecen un calendario que los participantes deben seguir, de modo que las empresas saben exactamente cuándo aparecerá nueva información y el momento en que deben responder.

Un aspecto importante de las subastas de espectro es el *número de lotes subastados*. La cantidad de espectro y las bandas de frecuencia que se subastarán determinan el número de empresas que participarán en la subasta, es decir, la competitividad y eficiencia de la subasta.

La limitación de la cantidad de espectro que puede obtener un participante permite evitar el monopolio en el mercado de los servicios de comunicaciones. Es posible limitar el espectro subastado actualmente o el espectro total perteneciente a un operador teniendo en cuenta el espectro ya adjudicado con anterioridad. En este último caso, las nuevas empresas que entran en el mercado tienen la oportunidad de adquirir una mayor cantidad de espectro en comparación con las empresas ya establecidas.

*El precio de salida, la cuantía de un depósito, el incremento y el número de rondas* tienen un efecto notable en el proceso de subasta. Así, el precio de salida y la cuantía de un depósito restringen el número de empresas que pueden participar en la subasta. El incremento es el precio añadido de un lote con respecto a la ronda anterior. Determina la duración del proceso de subasta. Cuanto menor sea el incremento, más larga será la subasta. El número de rondas afecta también a la duración del proceso de subasta. La subasta puede tener una o varias rondas. Generalmente, las subastas en plica tienen una sola ronda. La segunda opción es preferible en las subastas abiertas.

Las *normas de pago* son de suma importancia para las subastas en plica. Hay tres opciones posibles:

- El ganador paga el importe de su puja durante la subasta (primer precio).
- El ganador paga la segunda puja más alta por un lote (precio Vickrey o precio alternativo).
- El ganador paga el valor mínimo de las pujas ganadas (la opción es aplicable solo para tres o más lotes similares: precio universal).

La elección de una norma de pago puede afectar de manera importante a la motivación de las empresas y puede ser un incentivo para la participación de nuevos actores del mercado en las subastas. Cuando se utiliza la norma del primer precio, los participantes estiman la diferencia entre sus pujas y el precio que están dispuestos a pagar y, en consecuencia, estiman el riesgo de pérdida. A menor

diferencia, menor riesgo de perder una subasta. Esta situación puede suponer una ventaja para los nuevos operadores que deseen entrar en el mercado y sustituir a las empresas ya establecidas. Por el contrario, la norma del segundo precio más alto permite a los participantes hacer pujas reales, sabiendo que no pagarán más que el primero de los perdedores. Este sistema es beneficioso para los operadores fuertes. La norma del precio universal tiene ventajas (y desventajas) de los dos sistemas.

*Condiciones especiales para los participantes.* El organizador de la subasta podrá establecer condiciones especiales para grupos individuales de participantes. Por lo general, se trata de un descuento que oscila entre el 10% y el 40%; es decir, si resulta adjudicatario, el participante pagará entre un 10% y un 40% menos de lo que había pujado. La reserva de espectro para un grupo específico de participantes puede ser otra opción de condiciones especiales.

*Condiciones de anulación de la puja.* En caso de que un participante anule su puja, generalmente pagará una tasa y abandonará la subasta. Será sustituido por el participante con la siguiente puja más alta.

*Normas de participación activa.* Las normas de participación activa permiten controlar la velocidad de la subasta estableciendo un número mínimo de lotes por los que un participante puede pujar en cada ronda concreta.

Muchos formatos de subasta ofrecen amplias oportunidades para gestionar las normas de participación activa con el fin de influir en el comportamiento de los participantes. La aplicación de normas diferenciadas puede servir para limitar las oportunidades de puja de los operadores existentes y alentar a nuevas empresas a que participen en el mercado. Además, las normas de participación influyen en el proceso de las subastas con varias rondas.

La *norma de finalización de la subasta* permite a los usuarios adquirir el máximo espectro necesario. Un ejemplo de este tipo de norma es el siguiente: la subasta finaliza cuando no hay ninguna nueva puja por ningún lote durante la ronda.

## 2 Modelos de subasta de espectro

Dependiendo de la combinación de las condiciones descritas en la sección anterior, es posible distinguir entre los siguientes tipos (formatos) de subastas:

- subasta en plica de una ronda;
- subasta ascendente de varias rondas;
- subasta descendente de varias rondas;
- subasta de tipo reloj;
- subasta combinatoria;
- subasta combinada;
- subasta de incentivos.

La selección del formato de subasta en cada caso concreto dependerá de los siguientes factores:

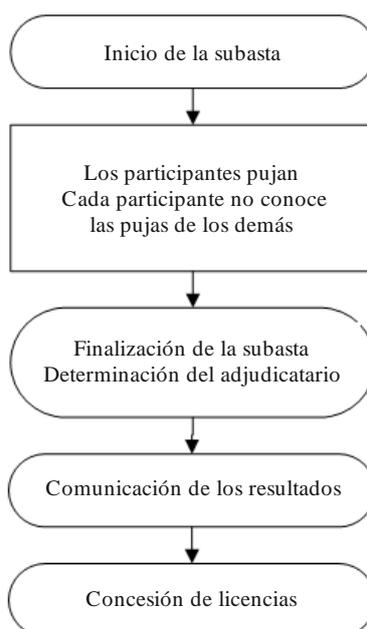
- *Número previsto de participantes y lotes subastados.* La relación entre el número de participantes y el número de lotes determina la competencia de la subasta. La subasta de puja abierta es un formato preferible cuando hay mucha competencia, en tanto que la subasta en plica es un formato preferible cuando hay poca competencia. En estos casos, las subastas serían más eficientes.
- *Objetivo fijado por el regulador al organizar la subasta.* En función del objetivo fijado por el organizador de la subasta, este puede modificar las normas de la subasta. Por ejemplo, puede establecer condiciones preferentes para determinados participantes (para nuevos actores del mercado o pequeños operadores) a fin de reforzar el entorno competitivo.

- *Tipo de licencia subastada.* En algunos casos, la licencia puede especificar la tecnología que deberá desarrollar el operador en la banda de frecuencias indicada. En otros casos, se subastan licencias de tecnología neutra. El último tipo de licencia define el número de empresas potencialmente interesadas en la subasta.

### Subasta en plica de una ronda

En la Fig. A3-2 se describe el procedimiento de este tipo de subasta y sus particularidades: los participantes no tienen conocimiento de una puja (o varias pujas) de los demás participantes; los resultados solo se anuncian una vez concluida la subasta; y la licencia se adjudica al participante que propone el precio máximo.

FIGURA A3-2  
Procedimiento de subasta en plica



Informe SM.2523-A3-02

#### Ventajas:

- Formato de subasta sencillo, rápido y fácil de gestionar.
- Las subastas pueden utilizarse para vender licencias individuales o múltiples.
- No es necesario reunir a los participantes en un mismo lugar ni utilizar complejos procedimientos electrónicos o en papel para la subasta.
- Los resultados de la subasta se interpretan de forma sencilla.
- Se evita la colusión entre participantes.

#### Desventajas:

- Por lo general, los participantes no tienen la oportunidad de analizar las acciones de los demás. Esto complica la decisión de por qué lote se puja cuando se subastan varias licencias de la misma categoría.
- Improbabilidad de obtener uno u otro lote si se subastan varios lotes complementarios entre sí.

- La eficiencia de la adjudicación es menor.

Desde el punto de vista de la adjudicación de espectro, este tipo de subasta puede ser razonable cuando:

- la porción de espectro subastada tiene un valor bajo (o el costo de organizar otro tipo de subasta es superior al valor del espectro especificado);
- hay muchas porciones de espectro y es necesario adjudicarlas pronto;
- la eficiencia en la adjudicación de espectro reviste menor importancia;
- el riesgo de colusión es alto.

Este formato de subasta se eligió en Dinamarca para adjudicar licencias de servicios 3G.

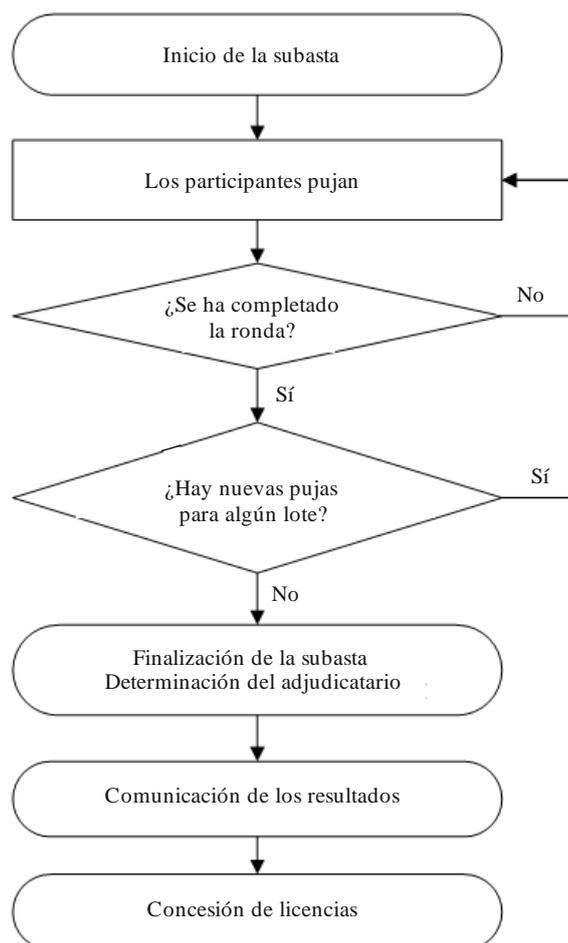
### **Subasta simultánea ascendente de varias rondas (subasta inglesa)**

Este tipo de subasta se utiliza mucho para vender licencias. Tiene las siguientes particularidades: en el proceso de varias rondas intervienen varias licencias subastadas simultáneamente; los participantes aumentan sus pujas en cada ronda, y la subasta finaliza cuando no hay nuevas pujas; el lote se adjudica al participante con la puja máxima (Fig. A3-3).

Cuando se organiza una subasta simultánea ascendente de varias rondas, pueden aplicarse distintas normas. La opción estándar de este formato de subasta consiste en la venta de varios lotes, de tal manera el precio de cada uno de los lotes se incrementa solo cuando algún participante realiza una puja. Por lo tanto, durante la subasta, los precios de los lotes individuales están sujetos a cambios. Además, los participantes pueden corregir sus pujas, es decir, hacer pujas por los lotes con precios más bajos.

La subasta ascendente simultánea es eficiente cuando se subastan varias licencias y existe incertidumbre en cuanto a la estimación de su precio.

FIGURA A3-3

**Procedimiento de subasta simultánea ascendente de varias rondas**

Informe SM.2523-A3-03

**Ventajas:**

- Los participantes tienen la oportunidad de analizar el comportamiento de los competidores y corregir sus pujas en función de la modificación del precio de la licencia.
- Menor riesgo de pago excesivo para el adjudicatario.
- Menor riesgo de que el participante no reciba la licencia deseada.
- Menor riesgo de que el participante no reciba la licencia deseada del paquete.

**Desventajas:**

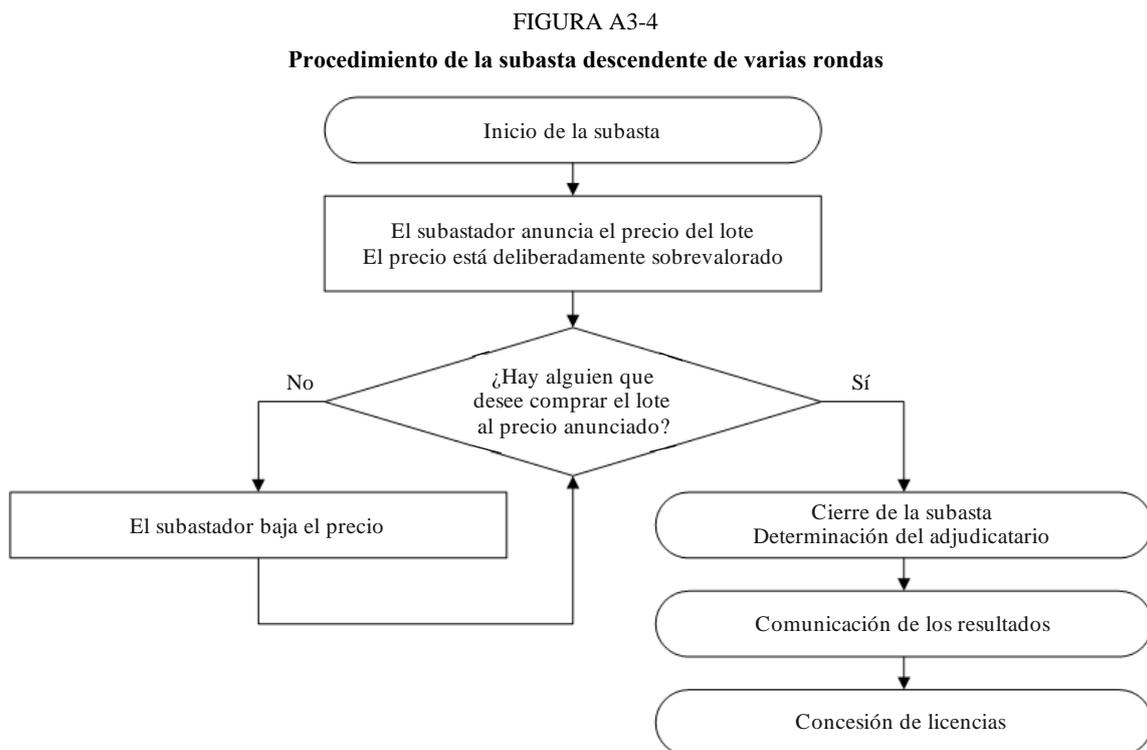
- Existe la posibilidad de colusión entre participantes. El número de participantes puede fijarse antes del inicio de la subasta. Además, las empresas ya establecidas pueden impedir la participación de nuevos operadores en la subasta.
- Complejidad. Las normas y procedimientos de una subasta de este tipo son más complicados que en el caso de una subasta simple con pujas en plica, a pesar de que el desarrollo de los sistemas de subasta electrónica ha hecho que las subastas simultáneas sean menos costosas y más sencillas.
- Condiciones desiguales para los participantes. En este formato de subasta, los participantes que solo necesiten un lote tienen cierta ventaja. Los participantes que necesitan varios lotes para el funcionamiento eficaz de sus redes corren un mayor riesgo de no poder adquirirlos.

- La subasta puede prolongarse durante mucho tiempo.

La subasta ascendente de varias rondas y la adjudicación sucesiva de lotes se han aplicado ampliamente en Europa, en particular en Alemania, Reino Unido y Suiza para la concesión de licencias de prestación de servicios 3G, en Noruega para la atribución de frecuencias en la banda de 3,5 GHz, así como para la concesión de licencias de espectro con fines de acceso inalámbrico de banda ancha fija, radiocomunicaciones locales, etc.

### Subasta descendente de varias rondas (subasta holandesa)

Este tipo de subasta de varias rondas presenta las siguientes particularidades: antes del inicio de la subasta, el subastador anuncia el precio de salida de un lote deliberadamente sobrevalorado; si no hay participantes dispuestos a comprar el lote al precio indicado, el subastador reduce el precio; la subasta se detiene cuando aparece un participante dispuesto a comprar el lote (Fig. A3-4).



Informe SM.2523-A3-04

#### Ventajas:

- Simplicidad de aplicación y transparencia del procedimiento de subasta.
- En comparación con el formato en plica, los participantes tienen la oportunidad de analizar el comportamiento de los competidores, lo que aumenta la eficiencia de sus decisiones.
- La subasta puede ser eficiente cuando el objetivo es vender el lote al precio mínimo.

#### Desventajas:

- El organizador de la subasta puede perder ingresos si se desconoce el precio máximo que los participantes están dispuestos a pagar y si el objetivo de la subasta es vender el lote al máximo precio posible.

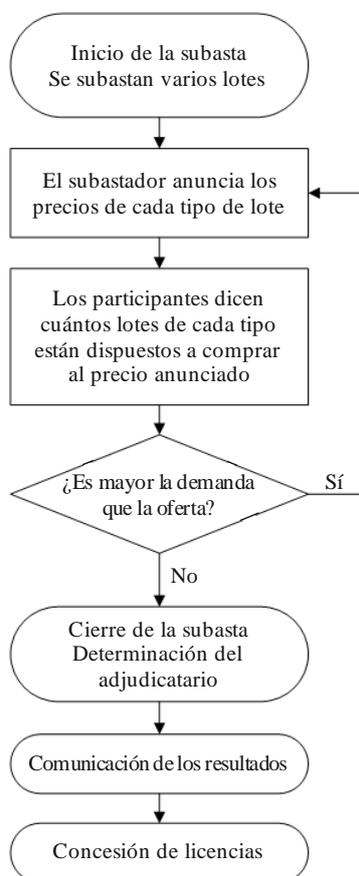
### Subasta de tipo reloj

La subasta de tipo reloj es una variedad de subasta simultánea ascendente de varias rondas. Se utiliza para vender lotes con precio uniforme cuando los participantes no prefieren un lote a otro. En este formato de subasta todos los lotes tienen un único precio que va ascendiendo en cada ronda hasta que el número de participantes es menor que el número de lotes.

En otra modalidad de esta subasta, los lotes se agrupan de forma que los lotes de un grupo sean equivalentes para los participantes. En este caso, el precio se fija para un lote de cada grupo.

La subasta de tipo reloj es el procedimiento cíclico en el que el subastador anuncia al comienzo de la ronda el precio de un lote de cada grupo de lotes (véase la Fig. A3-5). A continuación, los participantes anuncian cuántos lotes de cada grupo están dispuestos a comprar al precio anunciado. Para el grupo de lotes en el que la demanda es superior a la oferta, se aumenta el precio del lote. Los participantes anuncian de nuevo cuántos lotes están dispuestos a comprar a los precios anunciados. El proceso se repite a menos que la demanda sea igual a la oferta para todos los grupos de lotes.

FIGURA A3-5  
Procedimiento de subasta de tipo reloj



Informe SM.2523-A3-05

### Ventajas:

- Procedimiento sencillo para los participantes. En cada ronda, el participante anuncia la cantidad de espectro que está dispuesto a comprar al precio establecido.

- Se elimina la posible colusión de los participantes. La restricción de la información disponible para los participantes sobre la diferencia entre la demanda y la oferta no permite elaborar una estrategia de colusión. Se excluyen las señales de intención de puja porque los participantes no disponen de información sobre las pujas de los participantes individuales.
- Alta eficiencia de la subasta. Con cada ronda, los participantes tienen cada vez más información sobre el precio de tal o cual porción de espectro y la utilizan para tomar decisiones. En consecuencia, el costo de la participación en la subasta disminuye y la eficiencia es mayor.

#### Desventajas:

- Fijación lineal de precios hasta el final de la subasta. La fijación lineal de precios hace que disminuya la demanda de los participantes, lo que se traduce en una pérdida de eficiencia de la subasta.

Esta versión se aplicó en Hungría para la adjudicación de licencias de radiocomunicaciones locales, en Nigeria para la adjudicación de licencias de redes 2G, en el Reino Unido para la adjudicación de frecuencias en las bandas de 800 MHz y 2,6 GHz, y en Irlanda para la adjudicación de licencias en las bandas de 800 MHz, 900 MHz y 1 800 MHz.

#### **Subasta combinatoria abierta de varias rondas**

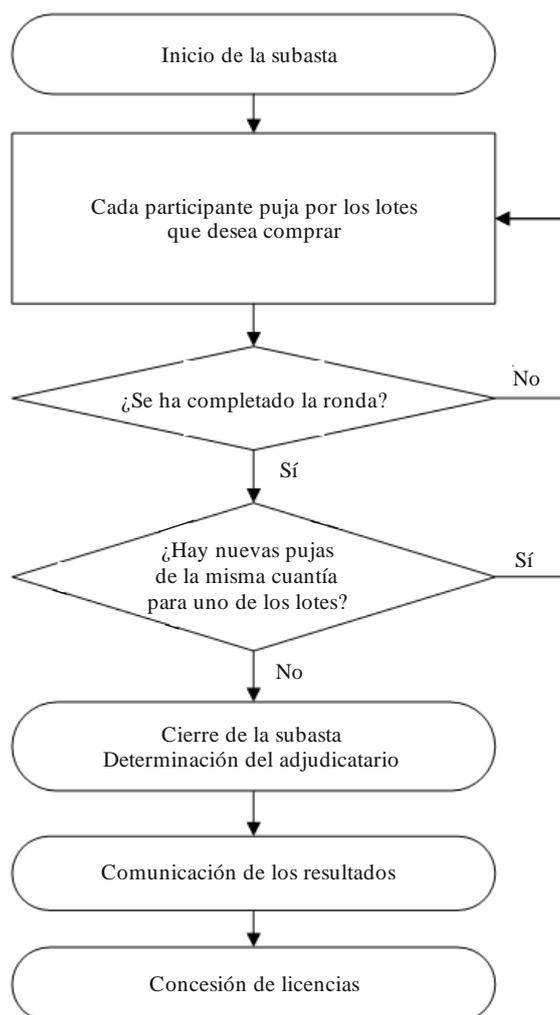
Este tipo de subasta se utiliza cuando los lotes subastados se complementan entre sí. A diferencia de la subasta estándar, los participantes pueden hacer varias pujas, una por cada combinación de lotes. Es decir, se puede pujar por un lote individual o por una combinación arbitraria de lotes (véase la Fig. A3-6).

La subasta se adjudica de la siguiente manera: para el conjunto de los participantes y para todos los lotes se define una combinación de pujas cuya suma tiene un valor máximo. Los participantes resultan adjudicatarios cuando sus pujas se han incluido en esa combinación.

La subasta puede organizarse en una o varias rondas. Este método puede servir de complemento a cualquier otro formato de subasta.

Con la transición hacia la liberalización del uso del espectro, aumentará la probabilidad de que participen en la misma subasta empresas con distintas necesidades de recursos de frecuencias. A este respecto, aumentará también el riesgo de no recibir el conjunto de licencias deseado. Como consecuencia, también crecerá el interés por el formato de subasta combinatoria.

FIGURA A3-6  
**Procedimiento de subasta combinatoria**



Informe SM.2523-A3-06

#### Ventajas:

- Existe la posibilidad de reducir los riesgos que afectan a los participantes. La posibilidad de pujar por una serie de licencias les permite evitar la situación de no obtener la porción del espectro necesaria. Sirve tanto a los intereses de quienes desean obtener varias licencias como a los de quienes desean obtener una sola.

#### Desventajas:

- Costos elevados y complejidad del algoritmo de determinación del ganador. La subasta combinatoria puede ser bastante más compleja para los organizadores y para los participantes. Cuando se subastan más de cuatro lotes e intervienen muchos participantes, puede requerirse un algoritmo informático para adjudicar los lotes, debido al gran número de combinaciones posibles de adjudicatarios y lotes considerados. Incluso con un número reducido de lotes, la determinación del adjudicatario no es una tarea sencilla.
- Poca transparencia. Los resultados de este tipo de subastas no siempre son transparentes para participantes y observadores, especialmente cuando se utiliza un algoritmo informático para determinar el adjudicatario.

- Complejidad de la toma de decisiones. Este formato de subasta puede suponer un nuevo riesgo para los participantes que deseen obtener una determinada licencia o un pequeño paquete de licencias, dada la dificultad de tomar decisiones correctas al competir con quienes pujan por un amplio paquete de licencias restringiendo las posibilidades de los participantes más pequeños.

Este formato de subasta se utilizó en Noruega en 2001 durante la subasta de las licencias GSM-1800 y GSM-900. Se subastaron combinaciones de porciones de espectro abstracto en el formato de puja en plica de una sola ronda.

En Nigeria, durante la adjudicación de licencias de acceso inalámbrico fijo en 2002, se organizaron cinco subastas combinatorias en plica, en las que los participantes pudieron hacer varias pujas exclusivas para obtener licencias en cuatro o cinco regiones. El proceso se dividió en cinco subastas para cada una de las regiones.

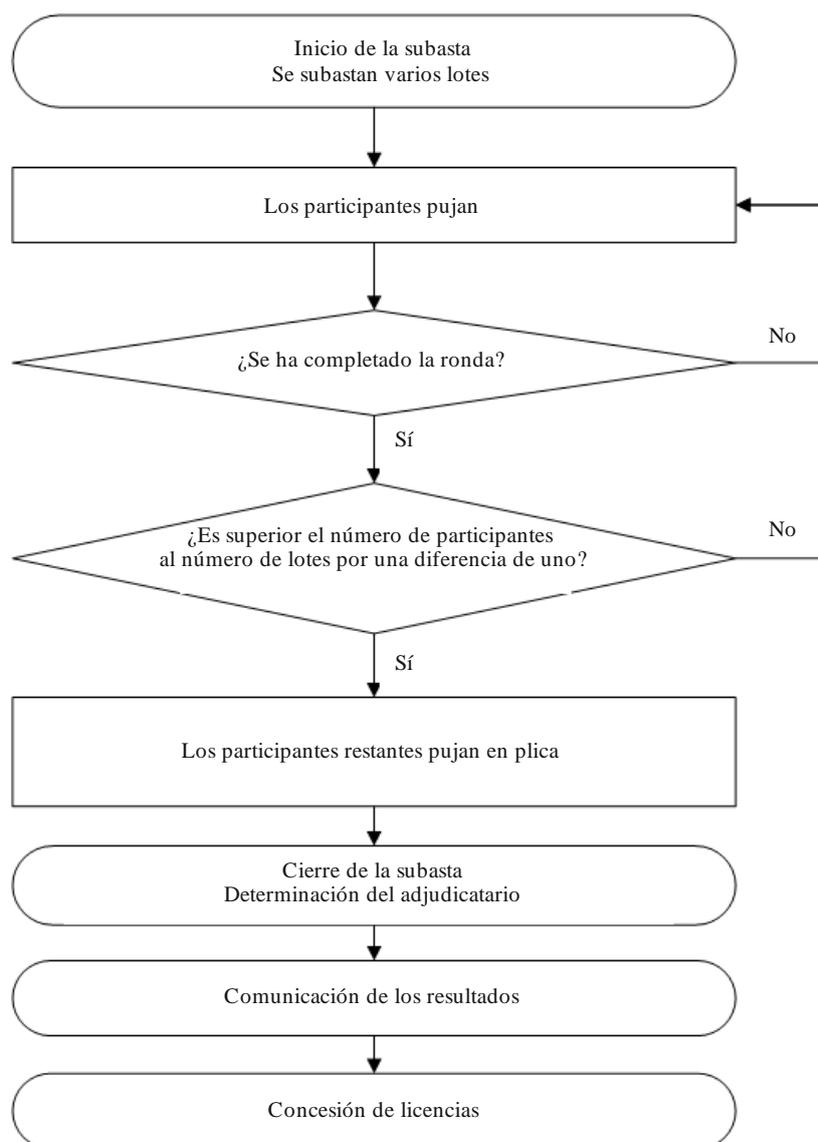
La subasta *combinatoria* en plica de una sola ronda se utilizó en el Reino Unido durante la asignación de cuatro porciones de espectro de 500 kHz en las bandas de 412-414/422-424 MHz para radiocomunicaciones profesionales.

### **Subasta combinada**

La subasta combinada es toda aquella que integra parámetros de varios tipos de subasta, como es el caso de la subasta angloholandesa y la subasta de reloj con posibilidad de pujar por un paquete de lotes.

El formato angloholandés combina la subasta simultánea estándar de varias rondas con la subasta en plica (véase la Fig. A3-7). Este formato puede ser útil cuando el número de grandes participantes coincida con el número de licencias.

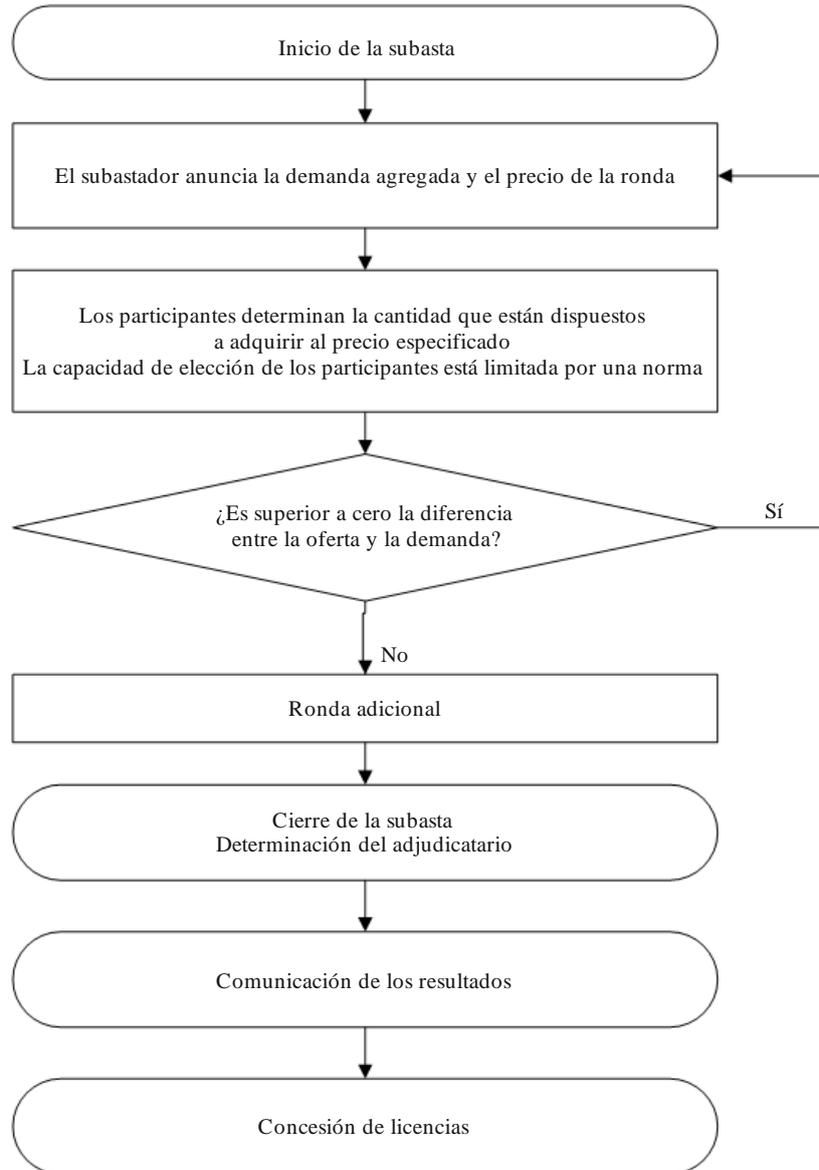
FIGURA A3-7  
Procedimiento de subasta angloholandesa



Informe SM.2523-A3-07

**Subasta de reloj con posibilidad de pujar por un paquete de lotes.** Este formato es una combinación de la subasta estándar de reloj con la subasta combinatoria de pujas ascendentes (véase la Fig. A3-8). En esta opción, la subasta del reloj se completa con una ronda adicional en la que los participantes realizan pujas adicionales.

FIGURA A3-8

**Procedimiento de la subasta de reloj con posibilidad de pujar por un paquete de lotes**

Informe SM.2523-A3-08

El Cuadro A3-1 muestra las ventajas e inconvenientes de los distintos tipos de subastas y su posible utilización en la Federación de Rusia.

### Subasta de incentivos<sup>7</sup>

Una subasta bilateral o «de incentivos» integra la oferta y la demanda de espectro para determinar la cantidad de espectro vendido, quién lo utiliza, los precios que perciben los compradores y el que pagan los vendedores y, como en el caso de la subasta de incentivos a la radiodifusión de la Federal Communications Commission (FCC), cómo se utiliza.

La subasta de incentivos a la radiodifusión de la FCC fue la primera subasta bilateral del mundo destinada a reasignar el espectro para otras utilidades. Concluyó en 2017, retribuyendo 84 MHz de espectro de radiodifusión de televisión en todo el país para satisfacer la creciente demanda de servicios de banda ancha móvil. En anteriores retribuciones, la FCC determinó administrativamente la cantidad de espectro retribuido. En la subasta de incentivos a la radiodifusión, la cantidad de espectro que iba a destinarse a otras utilidades se determinó en función de la oferta de las entidades de radiodifusión de televisión y la demanda de los operadores inalámbricos.

El formato de la subasta consistió en una serie de etapas, cada una de las cuales fue una subasta inversa seguida de una subasta directa. La subasta inversa de reloj descendente ofreció a las entidades de radiodifusión la oportunidad de renunciar a los derechos de utilización del espectro. Aunque las entidades de radiodifusión operan en tres bandas, UHF, VHF superior y VHF inferior, solo el espectro de UHF interesa a los proveedores de banda ancha móvil. La subasta inversa liberó el espectro de UHF abonando incentivos dinerarios a las entidades de radiodifusión para que dejaran de emitir o se trasladaran a una banda inferior. Las entidades de radiodifusión que dejaron de emitir en el espectro VHF también liberaron espectro UHF si alguna entidad de radiodifusión UHF estaba dispuesta a trasladarse a un canal VHF desocupado.

Aunque la decisión de las entidades de participar o no en la subasta de incentivos a la radiodifusión era voluntaria, la FCC estaba facultada para exigir a las emisoras que se trasladaran a un canal equivalente dentro de su banda actual (UHF, VHF superior o VHF inferior) para poder permanecer en antena. Esta autoridad contribuyó de manera esencial a crear una subasta inversa competitiva. Sin ella, todas las entidades de radiodifusión en la porción de banda UHF que se pretendía liberar podrían haber exigido un precio no competitivo para renunciar a sus derechos sobre el espectro.

Los operadores de servicios inalámbricos en la subasta directa de reloj ascendente pujaron por bloques genéricos de espectro dentro de 416 zonas geográficas de licencia. La primera fase de la subasta comenzó con el mayor objetivo viable de adjudicación de espectro, teniendo en cuenta a las entidades de radiodifusión que no estaban dispuestas a liberar el espectro a los precios de apertura y, por lo tanto, requerían que se les asignara un canal.

Si la subasta no podía cerrarse con un objetivo de liberación determinado, se realizaba otra fase con el objetivo inmediatamente inferior hasta que se cumplían las condiciones de la «regla de la fase final». Esta regla, que servía para determinar la fase en la que se cerraría la subasta, constaba de una prueba de ingresos brutos y otra de ingresos netos. Tras el cierre de la subasta directa en la fase final, se realizó una subasta en la fase de asignación para atribuir bloques de frecuencias específicos a los adjudicatarios de los bloques genéricos en cada zona geográfica.

---

<sup>7</sup> Esta sección se basa en «Economics at the FCC, 2016–2017: Auction Designs for Spectrum Repurposing and Universal Service Subsidies», Evan Kwerel, Paroma Sanyal, Katja Seim, Martha Stancill y Patrick Sun. *Review of Industrial Organization*. (2017) 51:451-486; y «Economics at the FCC, 2011-2012: Spectrum Incentive Auctions, Universal Service & Intercarrier Compensation Reform, and Mergers» – Evan Kwerel, Paul LaFontaine y Marius Schwartz. *Review of Industrial Organization* (2012).

CUADRO A3-1

**Análisis comparativo de los distintos tipos de subasta**

<b>Tipo de subasta</b>	<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>	<b>Casos de utilización</b>
Subasta en plica de una sola ronda	Formato de subasta sencillo, rápido y fácil de gestionar. Puede utilizarse para cualquier número de licencias. Se elimina la posible colusión de los participantes.	Menor eficiencia en la concesión de licencias. El adjudicatario paga en exceso en la mayoría de los casos.	Precio de espectro bajo. Elevado número de porciones de espectro y necesidad de adjudicarlas con rapidez. La eficiencia en la atribución de espectro no es importante. Alto riesgo de colusión de los participantes.
Subasta ascendente simultánea de varias rondas	Alta eficiencia de la subasta. Menor riesgo de pago excesivo para el adjudicatario. Menor riesgo de que el participante no reciba la licencia deseada.	Posible colusión de los participantes. Complejidad. Condiciones desiguales para los participantes. Puede prolongarse durante mucho tiempo.	Se subastan varias licencias. Compleja determinación del precio de la licencia. Para licencias en las bandas de frecuencia más valiosas (por ejemplo, dividendo digital).
Subasta descendente de varias rondas	Práctica sencilla. Procedimiento de subasta transparente.	Compleja determinación del precio de salida. Riesgo de pago excesivo para el adjudicatario. Baja eficiencia. En realidad, solo puede utilizarse de forma secuencial.	Las porciones de espectro subastadas tienen el mismo valor para los participantes; y para el operador no tiene importancia qué porción se le adjudica. El precio del espectro es conocido o puede basarse en la experiencia de subastas anteriores. Precio de espectro bajo. La adjudicación rápida de licencias es importante.
Subasta de tipo reloj	Procedimiento sencillo para los participantes. Se elimina la posible colusión de los participantes. Alta eficiencia.	Fijación lineal de precios al final de la subasta.	Las porciones de espectro subastadas son iguales.
Subasta combinatoria abierta de varias rondas	Las mismas ventajas que en el caso de la subasta abierta ascendente simultánea de varias rondas, más la máxima eficiencia para las bandas de frecuencias complementarias.	Práctica compleja. Mayor costo organizativo.	Se subastan varias licencias. Compleja determinación del precio de la licencia. Para licencias en las bandas de frecuencia más valiosas (por ejemplo, dividendo digital).

El análisis de las condiciones y los formatos de subasta lleva a la conclusión de que la elección del tipo de subasta en cada caso concreto debe determinarse en función de los siguientes parámetros:

- El número supuesto de participantes y el número de lotes subastados. La relación entre el número de participantes y el número de lotes determina la competencia en la subasta. Cuando la competencia es alta, es preferible la licitación abierta, y cuando la competencia es baja es preferible la licitación en plica. De este modo, la subasta será más eficaz.
- El objetivo del regulador al organizar la subasta. En función del objetivo fijado por el organizador de la subasta, pueden modificarse las reglas de puja. Por ejemplo, para mejorar el entorno competitivo, el organizador puede ofrecer condiciones preferentes a determinados participantes (nuevos actores en el mercado o pequeños operadores).
- Tipo de licencia subastada. En unos casos, la licencia puede especificar la tecnología que el operador debe desarrollar en la banda de frecuencias especificada. En otros casos, se subastan licencias de tecnología neutra. Este último tipo de licencia determina el número de empresas potencialmente interesadas en la subasta.

Estos criterios, que se tienen en cuenta al establecer el formato y las condiciones de subasta para porciones de espectro en determinadas bandas de frecuencias, también influyen en el nivel del precio de salida de la subasta.

### **3 Metodología para determinar el precio de salida de los lotes de espectro subastados**

El precio de salida es el precio mínimo que el participante debe pagar por un lote. El precio de salida determina la eficiencia de todos los formatos de subasta. Cuanto mayor sea el precio de salida, menor será el número de participantes posibles. Esto acrecienta el riesgo de que la licencia no llegue a adjudicarse. Al mismo tiempo, un precio de salida muy bajo puede dar lugar a una colusión de participantes, lo que a su vez irá en detrimento de los ingresos de la subasta. En este caso, los ingresos de la subasta podrían ser insuficientes incluso para cubrir los costos del regulador al organizar la subasta.

En la práctica internacional se recurre a distintos métodos para determinar el precio de salida de una licencia de utilización del espectro radioeléctrico:

- Modelización económica y matemática. Consiste en desarrollar modelos económico-matemáticos para los indicadores de actividad de los posibles participantes. Tras estimar el aumento de los ingresos del operador por la utilización de espectro adicional, a partir de los resultados de la modelización de ingresos y costos, se determina el precio potencial que el operador está dispuesto a pagar por la porción de espectro. Este valor también puede servir para determinar el nivel superior del posible precio de salida.
- Método de compensación de costos. El precio de salida del lote subastado se fija al nivel de los costos de la administración por la gestión del espectro radioeléctrico.
- Método comparativo. Se llevan a cabo estudios y análisis de la experiencia internacional existente, es decir, se recopilan datos sobre los precios de salida y los resultados de las subastas de frecuencias en la misma banda en otros países, con su posterior ajuste para un país en el que está prevista la subasta.

#### **Modelización económica y matemática**

Este método presenta ciertas ventajas:

- Determinación del precio máximo que la empresa está dispuesta a pagar por el espectro. El aumento de los ingresos y beneficios de la empresa por el espectro adicional, estimado a partir de modelos matemáticos, permite determinar el precio máximo que la empresa podría pagar por el espectro.

- Identificación del impacto del precio de salida sobre el número de participantes en la subasta, es decir, identificación de los participantes que no participarán en la subasta si el precio de salida es inadecuado. Además, el método permite determinar el precio al que nunca se venderá el espectro.

El método conlleva las siguientes desventajas:

- Diferencia esencial entre los modelos de negocio de los distintos usuarios. Esta diferencia resulta muy significativa en las subastas de licencias de tecnología neutra. En este caso, el valor del espectro dependerá de los servicios que un participante tenga previsto prestar y de la tecnología que pretenda utilizar. El desarrollo de modelos de negocio puede ser más complicado cuando nuevos agentes del mercado se proponen participar en la subasta.
- Grandes esfuerzos del organizador en el desarrollo de modelos económicos y matemáticos para los indicadores de actividad de los posibles participantes.
- Ambigüedad de los resultados obtenidos.
- Dificultad de garantizar la transparencia de los cálculos, ya que la mayor parte de la información necesaria para desarrollar modelos de negocio es privada.

### **Método de compensación de costos**

Las ventajas del *método de compensación* de costos administrativos para la determinación del precio de salida son las siguientes:

- El valor mínimo del precio de salida. El aumento de los costos de gestión del espectro, especificados en la licencia, determina el precio de salida más bajo.
- Compensación de los costos del regulador por la gestión del espectro.

Las desventajas de este método son:

- Bajos ingresos cuando la demanda de lotes subastados es escasa.
- Posible colusión de los participantes.
- Dificultad para obtener los datos iniciales. Resulta complicado obtener datos sobre los costos de una determinada banda de frecuencias a partir del conjunto de datos sobre costos de gestión de frecuencias.
- Es probable que el precio real del espectro sea mucho mayor.

### **Método comparativo**

El *método comparativo* se basa en estudios y análisis comparativos de la experiencia internacional existente en materia de fijación de precios en las subastas.

Las ventajas de este método son las siguientes:

- Flexibilidad. Pueden utilizarse diferentes muestras y métodos de tratamiento de datos.
- No es necesario obtener información privada.
- Transparencia.
- Consideración de diferentes escenarios de demanda.
- Disponibilidad de datos iniciales. Existe un gran volumen de datos empíricos de libre acceso, lo que permite evaluar el precio del espectro para los usuarios y reflejarlo en un precio de salida.

El análisis de la práctica existente presenta las siguientes desventajas:

- Dependencia del resultado de los datos iniciales y del método de tratamiento de los datos. El resultado depende de los datos iniciales recogidos en un periodo, país y banda de frecuencias determinados.

- Hay un gran número de factores que influyen en el precio del espectro en los distintos países, como el tamaño y la densidad de la población, la renta per cápita, la competencia en el mercado de las telecomunicaciones, la competencia en una subasta concreta, el tipo de espectro subastado y las condiciones/limitaciones técnicas de las licencias.
- Se requiere un gran volumen de datos iniciales.

La información anterior se resume en el Cuadro A3-2.

CUADRO A3-2

### Análisis de los métodos existentes para determinar el precio de salida

Método	Ventajas	Desventajas
Modelización económica y matemática	Permite determinar el precio del espectro para cada usuario concreto. Alta informatividad.	Diferencia esencial entre los modelos de negocio de los distintos usuarios. Los esfuerzos necesarios para desarrollar modelos de negocio son elevados. Ambigüedad de los resultados. Privacidad de los datos iniciales.
Método de compensación de costos	Precio mínimo de salida. Compensación de los costos que soporta el regulador por la gestión de espectro y la organización de las subastas.	Bajos ingresos cuando la demanda es baja. Posible colusión de los participantes. Dificultad para obtener los datos iniciales. El precio real del espectro puede ser mucho mayor.
Método comparativo	Flexibilidad. No se necesita información privada. Transparencia. Consideración de diferentes escenarios de demanda. Disponibilidad de datos iniciales.	Resultado dependiente de los datos iniciales (periodo de tiempo, banda de frecuencias) y de su método de tratamiento. Hay muchos factores que influyen en el precio del espectro en los distintos países. Se necesita un gran volumen de datos iniciales.

Tras los resultados de la subasta, el precio del espectro compensará los costos de la subasta y los costos de la gestión del espectro de conformidad con la legislación del país.

## Adjunto 2 al Anexo 3

### Experiencias nacionales de subastas de espectro

#### 1 Estados Unidos de América

##### 1.1 Subasta en plica de una ronda

1.1.1 Closed Cellular Unserved <https://www.fcc.gov/auction/77>, Mobility Fund Phase I <https://www.fcc.gov/auction/901>

##### 1.2 Subasta ascendente de varias rondas

1.2.1 Banda de 700 MHz <https://www.fcc.gov/auction/73>

##### 1.3 Subasta de tipo reloj

1.3.1 Subasta de reloj ascendente, subasta directa de incentivos a la radiodifusión <https://www.fcc.gov/auction/1002>

1.3.2 Subasta de reloj descendente, por ejemplo, Auction 1001, subasta inversa de incentivos a la radiodifusión <https://www.fcc.gov/auction/1001>

##### 1.4 Subasta de incentivos

###### 1.4.1

La subasta de incentivos es una nueva herramienta<sup>8</sup> autorizada por el Congreso para ayudar a la FCC a satisfacer las aceleradas necesidades de espectro del país en servicios de alto valor como la banda ancha móvil. Una subasta bilateral o «de incentivos» integra la oferta y la demanda de espectro para determinar la cantidad vendida, quién la utiliza, los precios que perciben los compradores y el que pagan los vendedores y, como en el caso de la subasta de incentivos a la radiodifusión de la Federal Communications Commission (FCC), cómo se utiliza.

En 2012, el Congreso otorgó a la Comisión facultades generales para organizar subastas de incentivos, junto con un mandato específico relativo a una subasta de incentivos de radiodifusión.<sup>9</sup> En 2014, la FCC adoptó un Informe y una Orden para las Subastas de Incentivos a la Radiodifusión.<sup>10</sup> La subasta comenzó el 29 de marzo de 2016 con compromisos de las entidades de radiodifusión a los

---

<sup>8</sup> <https://www.fcc.gov/about-fcc/fcc-initiatives/incentive-auctions/how-it-works>

<sup>9</sup> United States Code (U.S.C.). (2012). Middle Class Tax Relief and Job Creation Act of 2012, Pub. L. No. 112-96, 117 Stat 2066 («Spectrum Act»).

<sup>10</sup> <https://www.fcc.gov/document/fcc-adopts-rules-first-ever-incentive-auction>

precios de apertura.<sup>11</sup> Concluyó con éxito en 2017<sup>12</sup>, tras reatribuir 84 MHz de espectro de radiodifusión televisiva en todo el país.

En la fase de «subasta inversa» de la subasta de incentivos, las entidades de radiodifusión tuvieron la oportunidad de devolver parte o la totalidad de sus derechos de uso del espectro de radiodifusión a cambio de incentivos dinerarios. Al facilitar la devolución voluntaria de los derechos de uso del espectro y reorganizar las bandas de radiodifusión televisiva, la FCC pudo recuperar una parte del espectro de ondas decimétricas («UHF») con miras a la «subasta directa» de nuevas licencias de uso flexible adecuadas para la prestación de servicios móviles de banda ancha. Al poner más espectro a disposición de la banda ancha móvil, la subasta de incentivos beneficiará a los consumidores, al descongestionar las ondas del país, acelerar el desarrollo de nuevos servicios y aplicaciones inalámbricos más potentes y estimular la creación de empleo y el crecimiento económico.

La subasta de incentivos a la radiodifusión constaba de dos subastas separadas pero interdependientes: una subasta inversa, que determinaba el precio al que las entidades de radiodifusión renunciaban voluntariamente a sus derechos de uso del espectro; y una subasta directa, que determinaba el precio que las empresas estaban dispuestas a pagar por licencias inalámbricas de uso flexible. La combinación de la subasta inversa y la subasta directa fue el proceso de «reagrupamiento», que consistió en reorganizar y asignar canales a las emisoras de televisión restantes para crear bloques contiguos de espectro liberado, aptos para un uso flexible. Cada uno de los componentes funcionó de manera conjunta. La subasta inversa requería información sobre cuánto estaban dispuestos a pagar los participantes por las licencias de espectro en la subasta directa; y la subasta directa requería información sobre qué derechos de espectro se adjudicaban mediante subasta inversa, y a qué precio; y cada una de ellas dependía de que las restantes entidades de radiodifusión se reagruparan eficientemente.

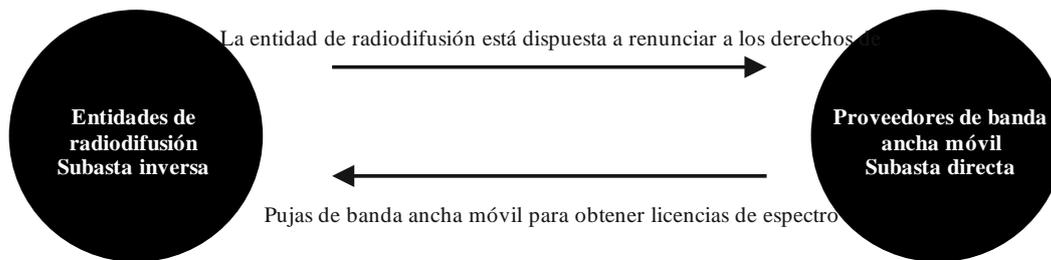
La subasta de incentivos a la radiodifusión se realizó en varias etapas. Cada etapa constaba de una subasta inversa y una subasta directa. Antes de la primera etapa, se determinó el objetivo inicial de liberación de espectro. Las entidades de radiodifusión indicaron a través del proceso de solicitud previo a la subasta su disposición a renunciar a los derechos de uso del espectro a los precios de apertura. Basándose en la voluntad colectiva de las entidades de radiodifusión, el objetivo inicial de liberación de espectro se fijó en el nivel más alto posible (126 MHz de espectro) sin superar un límite agregado nacional predeterminado para las interferencias entre proveedores inalámbricos y emisoras de televisión («degradaciones») que se crean cuando hay que asignar emisoras de televisión a la banda inalámbrica. Seguidamente, se ejecutó el proceso de licitación de la subasta inversa para determinar la cuantía total de los incentivos dinerarios que se abonarían a las entidades de radiodifusión para liberar esa cantidad de espectro.

Se realizó una subasta directa tras la subasta inversa en cada etapa hasta cumplir la «regla de la fase final». La regla de la fase final es un conjunto de condiciones que deben cumplirse para cerrar la subasta con el objetivo de liberación establecido; el incumplimiento de la regla requiere la ejecución de una nueva fase con el siguiente objetivo de liberación más bajo. Cuando se cumple la «regla de la fase final», las pujas en la subasta directa continúan hasta que no hay exceso de demanda, y entonces se cierra la subasta de incentivos. La subasta de incentivos a la radiodifusión se cerró en la cuarta etapa.

---

<sup>11</sup> Las entidades de radiodifusión debían comprometerse a una opción de cesión preferente, y podían comprometerse a otras opciones «subsidiarias», para cada una de sus emisoras participantes en la subasta inversa. Procedimiento PN, FCC 15-78, de 11 de agosto de 2015, § IV.A.1.

<sup>12</sup> La puja concluyó el 30 de marzo de 2017. La finalización oficial de la subasta estuvo marcada por la publicación del *Closing and Channel Reassignment Public Notice*, DA 17-314, de 13 de abril de 2017.



Informe SM.2523-A3-A

Un elemento clave de la subasta de incentivos a la radiodifusión era el carácter absolutamente voluntario de la decisión de las entidades de radiodifusión de participar en la subasta inversa. En el formato de subasta de reloj descendente, si una entidad de radiodifusión decidía en algún momento que el precio era demasiado bajo, podía retirarse de la subasta inversa. Ninguna emisora percibió una compensación inferior al precio total que había indicado que estaba dispuesta a aceptar.

La FCC reconoció también la importancia de las entidades de radiodifusión que, aunque optaron por no participar en la subasta inversa, cumplieron la orden del Congreso de hacer cuantos esfuerzos fueran razonables para preservar la zona de cobertura y el alcance del servicio de los restantes titulares de licencias para la radiodifusión. El método de reorganización (o «reagrupamiento») adoptado por la FCC también evita trastornos innecesarios a las entidades de radiodifusión y a los consumidores.

#### 1.4.2 Plan de bandas

Antes de la subasta, la FCC estableció un plan de bandas de licencias inalámbricas para cada posible objetivo de liberación de espectro. El «Plan de bandas de 600 MHz» que adoptó la FCC consistía en una banda de enlace ascendente que comienza en el canal 51 (698 MHz), seguida de un intervalo dúplex y, a continuación, una banda de enlace descendente.<sup>13</sup> Cada licencia inalámbrica es de 10 MHz y consta de un enlace ascendente de 5 MHz emparejado con un enlace descendente de 5 MHz. La siguiente figura muestra el plan de bandas asociado a cada objetivo potencial de liberación de espectro.<sup>14</sup> La cantidad potencial de espectro liberado oscilaba entre 126 y 42 MHz. Las correspondientes licencias inalámbricas en una zona geográfica oscilaban entre diez y dos.

<sup>13</sup> El intervalo dúplex de 11 MHz y las bandas de guarda que separan los distintos servicios se muestran sombreadas en gris con trama oblicua en blanco. El canal 37, sombreado en naranja, está atribuido a la radioastronomía y aplicaciones médicas inalámbricas de telemetría. Los números de canal de televisión UHF se indican para cada canal de televisión de 6 MHz en la parte inferior de la banda. Incentive Auction R&O, 29 FCC Rcd, página 6585, párrafo 45.

<sup>14</sup> El conjunto inicial de planes de banda elaborados por la FCC también constaba de un plan de 138 MHz y otro de 144 MHz. Estos planes no se tuvieron en cuenta al establecer el objetivo inicial de liberación de espectro para armonizar mejor los planes de las bandas de 600 MHz de Estados Unidos y Canadá. Véase Auction 1000 Bidding Procedures PN, 30 FCC Rcd, página 8986, párrafo 16, nota 52; Canadian Coordination, página 2, nota 4.

10	126	21	22	23	24	25	26	27	28	29	9	A	B	C	D	E	F	3	37	3	G	H	I	J	11	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
9	114	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	7	A	B	C	D	3	37	3	E	F	G	H	I	11	A	B	C	D	E	F	G	H	I
8	108	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	11	A	B	3	37	3	C	D	E	F	G	H	11	A	B	C	D	E	F	G	H	
7	84	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	3	A	B	C	D	E	F	G	11	A	B	C	D	E	F	G	
6	78	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	7	A	B	C	D	E	F	11	A	B	C	D	E	F		
5	72	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	11	A	B	C	D	E	11	A	B	C	D	E			
4	60	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	9	A	B	C	D	11	A	B	C	D			
3	48	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	7	A	B	C	11	A	B	C			
2	42	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	11	A	B	11	A	B				

Informe SM.2523-A3-B

El plan de bandas de la subasta de incentivos también contemplaba la posibilidad de que no se liberara la misma cantidad de espectro en todas las zonas geográficas. Si para un determinado objetivo de liberación de espectro no se podía asignar un canal a todas las emisoras de televisión que debían ser reagrupadas en la parte inferior de la banda, el *software* de optimización del agrupamiento determinaba asignaciones de canales en la parte superior de la banda que minimizaban la degradación de las operaciones inalámbricas relacionada con las interferencias. El plan de la banda de 84 MHz con el que se cerró la subasta no presentaba estas degradaciones.

### 1.4.3 Reasignación de espectro para usos móviles

En la subasta de incentivos a la radiodifusión se reasignaron 84 MHz de espectro de radiodifusión de televisión. De los 84 MHz reasignados, 70 MHz se adjudicaron para licencias de usos flexibles, incluida la banda ancha móvil, y 14 MHz se destinaron a usos sin licencia y micrófonos inalámbricos. De los 19 800 millones de dólares de ingresos brutos ofertados en la subasta directa, 10 100 millones se destinaron a las entidades de radiodifusión de televisión beneficiarias y 7 300 millones al Tesoro federal.<sup>15</sup>

La subasta creó el primer mercado de reasignación de espectro comercial para nuevos usos. El modelo sentará las bases de las futuras reatribuciones de espectro en Estados Unidos. En anteriores reatribuciones, la FCC determinó administrativamente la cantidad de espectro reatribuido. En cambio, en la subasta de incentivos a la radiodifusión, la cantidad de espectro destinada a otras utilidades se determinó mediante una subasta bilateral en función de la oferta de las entidades de radiodifusión de televisión y la demanda de los operadores inalámbricos.

Una vez concluida la subasta de incentivos, la transición a la banda UHF reorganizada será lo más rápida posible sin causar trastornos innecesarios. Las emisoras que renunciaron a sus licencias en la subasta de incentivos tuvieron que restituirlas y dejar de operar. A las emisoras que renunciaron a sus licencias se les permitió seguir emitiendo mediante un acuerdo para compartir un canal con una estación que no renunciaba.

Las emisoras reasignadas a un nuevo canal debían trasladarse de sus canales anteriores a la subasta a los nuevos canales en las bandas de radiodifusión de televisión reorganizadas (canales 2-36), con arreglo a un calendario de transición por fases que asignaba a las emisoras reagrupadas una de las diez fases de transición. Cada fase de transición tenía una fecha límite en la que se permitía a las emisoras comenzar las pruebas y el funcionamiento en su canal posterior a la subasta (periodo de pruebas) y una fecha en la que cada emisora debía dejar de emitir en sus canales anteriores a la subasta

<sup>15</sup> Los ingresos de la subasta directa, una vez descontadas las ofertas con crédito, ascendieron a 19 300 millones de dólares. Los ingresos también se destinarán a reembolsar a las emisoras no beneficiarias y a sufragar los costos de organización de la subasta.

(fecha de finalización de la fase). No se permitía a ninguna emisora seguir operando en su canal anterior a la subasta después del 13 de julio de 2020.

## Anexo 4

### Estudio de caso en China sobre la evaluación de la eficiencia espectral

El texto que sigue expresa las opiniones de la administración contribuyente.

Desde la perspectiva de los reguladores del espectro radioeléctrico, algunas administraciones ya han introducido cuatro factores para evaluar la eficiencia espectral. En esos casos, el regulador radioeléctrico utiliza los siguientes cuatro factores para evaluar la eficiencia de la utilización de frecuencias del espectro autorizado y caracterizar el uso real del espectro con licencia mediante mediciones y datos reales. De este modo, surge otra dimensión para describir la eficiencia de la utilización del espectro, a saber, mediante el resultado de la medición de cuatro indicadores: ocupación de las bandas de frecuencias, ocupación de tiempo anual, tasa de cobertura de zona y tasa de servicio a usuarios.

La *ocupación de las bandas de frecuencias* se refiere a la relación entre la gama de frecuencias realmente utilizable y la gama de frecuencias aprobada por la administración.

La *ocupación de tiempo anual* se refiere a la relación entre el número de días (u horas) realmente utilizados en el transcurso de un año y el número de días (u horas) que tiene un año. Según el uso real, la ocupación de tiempo diario y mensual se utilizará para la evaluación, o se combinará con la utilización real por parte de los usuarios y los servicios radioeléctricos.

La *tasa de cobertura de zona* se refiere a la relación entre la zona de utilización real (en km<sup>2</sup>) de las frecuencias con licencia y la zona de utilización de frecuencias aprobada por la administración.

La *tasa de servicio a usuarios* es la relación entre el número de usuarios servidos mediante la utilización de frecuencias con licencia y el número de usuarios servidos que ha sido evaluado y demostrado por expertos.

Los cuatro indicadores mencionados pueden ser objeto de continuos estudios, al ser más fáciles de obtener y de medir, y pueden resultar más intuitivos para evaluar la eficiencia (de utilización) del espectro.

---