



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Centro Interdisciplinario de Posgrados

Investigación y Consultoría

Departamento de Ingeniería

Doctorado en Planeación Estratégica

y Dirección de Tecnología

**“Análisis de la asignación de espectro radioeléctrico utilizando la subasta de aceptación diferida para redes 5G en México”**

Tesis que para obtener el Grado de Doctor  
en Planeación Estratégica y Dirección de Tecnología

Presenta

Angélica Gutiérrez Guerrero

Puebla, Pue., México

Agosto 2022



**UPAEP – Secretaría General**

Dirección General de Apoyos Académicos

Dirección del Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación.

Biblioteca Central - **Karol Wojtyła**

**Tesis Digitales Restricciones de uso:**

**DERECHOS RESERVADOS ©**

**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de textos, imágenes, gráficas, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores involucrados en el documento.

Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla  
Decanato de Ingeniería  
Doctorado en Planeación Estratégica  
y Dirección de Tecnología

Se aprueba la Tesis:

**Nombre de la Tesis**

**Análisis de asignación de espectro radioeléctrico utilizando la  
subasta de aceptación diferida para redes 5G en México**

Nombre del Alumno

**Angélica Gutiérrez Guerrero**

Comité Asesor

Dr. María Catalina Ovando Chico

Director de Tesis

Dr. Damián Emilio Gibaja Romero

Asesor 1

Dr. Juan Carlos Pérez García

Asesor 3

Dr. Emmanuel Olivera Pérez

Asesor 2

Dra. Alejandra Aldrette Malacaera

Asesor 4

Puebla, México.

Agosto de 2022.

---

---

Dra. María Catalina Ovando Chico  
Dr. Damián Emilio Gibaja Romero

***Mi gratitud por haber contribuido de manera importante en el logro de este objetivo profesional.***

---

---

### **Dedicatorias**

***A Dios por permitirme lograr una meta más en mi vida.***

***A mi madre por el apoyo y cariño incondicional que siempre me brindo. Este logro personal es dedicado a ti que me guías desde el cielo.***

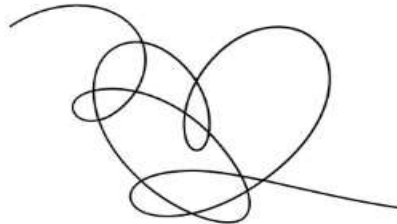
***A mi padre que con su ejemplo me ha forjado ser una persona fuerte y responsable.***

---

---

***Recuerda que aquellos que siguen intentando sin darse por vencidos son los que triunfan.***

**김태형**

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke extending to the right.

## CONTENIDO

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
Planteamiento del problema .....	1
Justificación .....	2
Objetivos .....	3
Preguntas de Investigación .....	3
Alcances y limitaciones .....	3
<b>1. MARCO CONCEPTUAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO</b> .....	4
1.1 Espectro radioeléctrico .....	4
1.2 Aspectos internacionales en la asignación de espectro radioeléctrico ..	6
1.3 Concesión de licencias .....	7
1.4 Mecanismos de asignación de espectro radioeléctrico .....	7
<b>2. TEORÍA DE SUBASTAS</b> .....	9
2.1 Asignación espectro con subastas .....	9
2.2 Subastas de aceptación diferida (SAD) .....	12
<b>3. ASIGNACIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN MÉXICO</b> .....	14
3.1 Evolución del mercado móvil en México .....	14
3.2 Reformas de telecomunicaciones .....	15
3.3 Política pública que rige la asignación de espectro radioeléctrico .....	16
3.4 Licitaciones de espectro radioeléctrico en México .....	16
<b>4. BANDAS DE FRECUENCIA PARA 5G</b> .....	25
4.1 Importancia de 5G .....	25
4.2 Requerimientos de espectro radioeléctrico para 5G .....	27
4.3 Banda de 600 MHz .....	28
4.4 Banda de 1.4 GHz .....	30
4.5 Banda de 3.3-3.45 GHz .....	32
4.6 Resumen de características de Bandas de Frecuencias para 5G .....	33
<b>5. COBERTURA</b> .....	35
5.1 Marco jurídico de cobertura universal en México .....	35
5.2 Cobertura en México .....	35
5.3 Cobertura móvil y sus efectos .....	37
<b>6. METODOLOGÍA</b> .....	40
6.1 Etapa 1 Recopilación de información .....	41
6.2 Etapa 2 Análisis de información .....	42
6.2.1 Análisis de mecanismos de asignación .....	42
6.2.2 Análisis económico de asignación de espectro radioeléctrico .....	42

6.2.2.1	Licitaciones.....	42
6.2.3	Análisis de cobertura .....	44
6.3	Etapa 3 Modelo seleccionado.....	50
6.3.1	Identificación de variables y parámetros. ....	50
6.3.2	Modelo matemático .....	53
6.3.3	Diagrama de modelo utilizando la subasta de aceptación diferida.....	55
6.5	Desarrollo de modelo en R.....	56
7.	RESULTADOS .....	57
7.1	Contexto en el que se desarrolla la asignación la asignación de espectro en México.....	57
7.1.1	Método y elementos actuales para la asignación de espectro radioeléctrico .....	57
7.1.2	Espectro radioeléctrico asignado en México para 2G, 3G, 4G y 5G.....	57
7.2	Mecanismos de asignación de espectro radioeléctrico empleados en México. ....	58
7.3	Cobertura en México .....	60
7.4	Aplicación de modelo de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro.....	61
8.	CONCLUSIONES .....	70
	REFERENCIAS .....	72
	ANEXOS .....	80
A)	Definiciones .....	80
B)	Población por estado y por región .....	83
C)	Cobertura por población por región.....	85
D)	Asignación de espectro por cobertura.....	94
E)	Simulaciones de subasta de aceptación diferida .....	98
F)	Fuentes.....	99

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de eficiencia espectro radioeléctrico .....	4
Tabla 2. Funciones de la gestión de espectro radioeléctrico .....	5
Tabla 3. Regiones en el mundo .....	6
Tabla 4. Mecanismos de asignación para asignación de espectro radioeléctrico.....	8
Tabla 5. Segmentos y ancho de banda de licitación 1997-2.....	18
Tabla 6. Segmentos y ancho de banda de licitación 21(2009) .....	18
Tabla 7. Segmentos y ancho de banda de licitación 2(2010) .....	19
Tabla 8. Características licitación IFT-10.....	22
Tabla 9.-. Licitaciones en México.....	24
Tabla 10. Comparación de las tecnologías inalámbricas móviles.....	25
Tabla 11. Características de 4G y 5G .....	25
Tabla 12. Bandas claves para 5G .....	27
Tabla 13. Atribución banda 614-698 MHz .....	29
Tabla 14. Atribución banda 1.4 GHz .....	30
Tabla 15. Atribución banda 3.5 GHz .....	32
Tabla 16. Resultados de características de Bandas de Frecuencia para 5G .....	34
Tabla 17. Características técnicas para 5G .....	34
Tabla 18. Tipos de cobertura .....	36
Tabla 19. Categorías y descripciones de Base de Datos de Cobertura Móvil .....	44
Tabla 20. Características cobertura .....	45
Tabla 21. Bases de datos de población INEGI 2020 .....	47
Tabla 22. Conjuntos .....	50
Tabla 23. Parámetros del licitante .....	51
Tabla 24. Parámetros del licitador .....	51
Tabla 25. Conjuntos de salida .....	52
Tabla 26. Parámetros de resultado .....	52
Tabla 27.-Niveles de producción .....	53
Tabla 28. Asignación de espectro asignado actual para servicios móviles para servicios 2G, 3G, 4G .....	57
Tabla 29. Asignación de espectro para 5G.....	58
Tabla 30. Resultados del análisis de mecanismos de asignación .....	58
Tabla 31. Precio por MHz. ....	59
Tabla 32. Cobertura garantizada y diferenciada en México.....	60
Tabla 33. Porcentaje de cobertura garantizada y diferenciada en México .....	60
Tabla 34.-Combinaciones para la asignación de espectro radioeléctrico .....	62
Tabla 35. Cobertura por población y región .....	63
Tabla 36.-Escenario para 100% de cobertura .....	65
Tabla 37. Porcentaje de cobertura con mayor población .....	66
Tabla 38. Porcentaje de cobertura con menor población .....	67
Tabla 39.-Comparativo de cobertura actual y subasta DA.....	68
Tabla 40. Comparativo subastas actuales y subasta de aceptación diferida .....	69
Tabla 41. Población por estado .....	83
Tabla 42. Población por región .....	84
Tabla 43. Datos de población y cobertura Región 1 .....	85
Tabla 44. Datos de población y cobertura Región 2 .....	86
Tabla 45. Datos de población y cobertura Región 3 .....	86
Tabla 46. Datos de población y cobertura Región 4 .....	88
Tabla 47. Datos de población y cobertura Región 5 .....	89

Tabla 48. Datos de población y cobertura Región 6 .....	90
Tabla 49. Datos de población y cobertura Región 7 .....	91
Tabla 50. Datos de población y cobertura Región 8 .....	92
Tabla 51. Datos de población y cobertura Región 9 .....	93
Tabla 52. Porcentaje cobertura localidades mayor población R1 .....	94
Tabla 53. Porcentaje cobertura localidades mayor población R2 .....	94
Tabla 54. Porcentaje cobertura localidades mayor población R3 .....	95
Tabla 55. Porcentaje cobertura localidades mayor población R4 .....	95
Tabla 56. Porcentaje cobertura localidades mayor población R5 .....	96
Tabla 57. Porcentaje cobertura localidades mayor población R6 .....	96
Tabla 58. Porcentaje cobertura localidades mayor población R7 .....	97
Tabla 59. Porcentaje cobertura localidades mayor población R8 .....	97
Tabla 60. Porcentaje cobertura localidades mayor población R9 .....	97
Tabla 61. -Escenario uno para región 1 .....	98
Tabla 62. Escenario dos para región 5 .....	98
Tabla 63. Escenario tres para región 7 .....	99
Tabla 64. Fuentes .....	99

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.Crecimiento banda móvil y servicio de telefonía móvil en México .....	14
Figura 2.Comparación de índice de precios al consumidor de telefonía móvil en México .....	15
Figura 3.Distribución de banda de 600 MHz.....	28
Figura 4.Banda de 1.4 GHz.....	30
Figura 5.Banda 3.5 GHz .....	32
Figura 6. Etapas de la metodología .....	40
Figura 7.Estructura de Bases de Datos de cobertura .....	46
Figura 8.Diagrama de Tablas para cobertura.....	48
Figura 9. Subasta de aceptación diferida.....	55
Figura 10. Precio por MHz.....	59
Figura 11. Cobertura por población y región .....	64
Figura 12.Localidades con menor población sin cobertura .....	64
Figura 13. Localidades prioritarias con menor población .....	64
Figura 14.Asignación de espectro por puntaje de acuerdo a la cantidad de años.....	65
Figura 15. Porcentaje de cobertura con mayor población .....	66
Figura 16.Porcentaje de cobertura con menor población.....	67
Figura 17. Comparativo de la cobertura actual y los escenarios generados.....	68
Figura 18.-Comparativo de cobertura actual y subasta DA.....	68
Figura 19. Cobertura localidades mayor población R1 .....	94
Figura 20.Cobertura localidades mayor población R2 .....	94
Figura 21.Cobertura localidades mayor población R3 .....	95
Figura 22.Cobertura localidades mayor población R4 .....	95
Figura 23.Cobertura localidades mayor población R5 .....	96
Figura 24.Cobertura localidades mayor población R6 .....	96
Figura 25.Cobertura localidades mayor población R7 .....	97
Figura 26.Cobertura localidades mayor población R8 .....	97
Figura 27.Cobertura localidades mayor población R9 .....	97

## LISTADO DE ACRÓNIMOS

<b>OCDE</b>	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico
<b>AWS</b>	Advanced Wireless Services.
<b>CNAF</b>	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.
<b>DOF</b>	Diario Oficial de la Federación.
<b>FDD</b>	Frequency División Duplexing
<b>TDD</b>	Time Division Duplexing.
<b>FCC</b>	Federal Communications Comission.
<b>IFT</b>	Instituto Federal de Telecomunicaciones.
<b>IMT</b>	International Mobile Telecommunications
<b>LFTyR:</b>	Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión
<b>SCT:</b>	Secretaría de Comunicaciones y Transportes.
<b>UIT</b>	Unión Internacional de Telecomunicaciones
<b>ITU</b>	International Telecommunication Union
<b>VMR</b>	Valor Mínimo de Referencia
<b>SMRA</b>	Mecanismo de asignación de Rondas Simultáneas Ascendentes

# INTRODUCCIÓN

## Planteamiento del problema

El espectro radioeléctrico es considerado un elemento básico que permite ofrecer los servicios de comunicaciones de un país (Calhoun, 1988). En los años recientes, el aumento de demanda de banda ancha ha implicado la necesidad de aumentar los esfuerzos para asignarlo de la manera más eficiente (IFT, 2018e). Al ser considerado un recurso escaso y de un gran valor, requiere una adecuada gestión que permita se ofrezcan diferentes servicios de la forma más óptima (IFT, 2019a). Por lo cual la gestión implica en primera instancia aspectos económicos para el desarrollo de la nación (León, 2009), aspectos sociales que permitan contar con servicios óptimos que benefician a los usuarios y aspectos técnicos que implican la adecuada explotación del mismo, lo que se puede considerar como un componente primordial para el desarrollo del país (IFT, 2018e).

Así mismo, en México los mecanismos de asignación de espectro radioeléctrico más utilizados son las subastas simultáneas ascendentes, combinatorias de reloj y subasta de rondas de reloj, las cuales contribuyen poco al bienestar social (IFT, 2018b). No obstante, (Massaro, 2017) menciona que las subastas son consideradas un mejor mecanismo de asignación comparado con otros mecanismos que aún tienen deficiencias. Por ejemplo, en algunas subastas no se fijan precios topes y los licitadores pueden ofertar más de lo necesario (GSMA, 2019a). Así mismo, autores como (Wang, Sun, & Jia, 2016) mencionan que en las subastas de espectro radioeléctrico se debe evitar la colusión entre los participantes. En pocas palabras y de acuerdo a las reglas de la subasta surgen diferentes tipos de subasta y es importante un diseño de subasta que no solo se centre en incrementar los ingresos generados, sino que permita establecer los precios adecuados y evite coaliciones.

No obstante, en medida que la tecnología 5G es más flexible en el uso del espectro que las tecnologías 3G y 4G, es importante analizar el escenario más adecuado de nuevas tecnologías que faciliten la expansión de la cobertura.

Por lo tanto, la gestión del espectro no es un trabajo fácil ya que cada país posee características propias y únicas que requieren soluciones a la medida (Casanueva-Reguart C. , 2019). El Instituto Federal de Telecomunicaciones hace hincapié que se deben diseñar estrategias para su adecuada asignación ya que en algunos casos no han sido eficientes y han permitido la inadecuada utilización del recurso (Zhou, Berry, Honig, & Vohra, 2009), lo que conlleva a preguntarnos sobre ¿Cómo asignar este recurso para generar los beneficios adecuados en nuestro país?

Por otro lado, en el análisis de cobertura móvil realizado por (IFT, 2020c), se encontró que el 61.4% de la población cuenta con cobertura móvil en las tecnologías 2G, 3G y 4G, en tanto que el 38.6% no cuenta con cobertura, lo que hace importante analizar la asignación de espectro para ampliar la cobertura de los servicios.

## **Justificación**

La tecnología 5G proporcionará una mejor experiencia para los usuarios, permitiendo un incremento en la cantidad de dispositivos, así como en velocidad y capacidad. Esta tecnología se considera como una herramienta fundamental para la transformación digital e incrementar la productividad de un país (SCT, 2019). Además, el espectro radioeléctrico es un recurso que debe ser asignado para que se puedan ofrecer servicios de telecomunicaciones inalámbricas. Considerando entonces que existen diferentes mecanismos, los cuales poseen características para propiciar resultados eficientes, pero también estas ventajas disminuyen con respecto a las reglas y diseño que cada mecanismo implemente. No obstante, los mecanismos de asignación afectan la valoración del bien, la cantidad de licitadores, el espectro que es asignado, la cobertura, la inversión en infraestructura, entre otros. Por lo tanto, ciertas opciones aumentan el riesgo de que el espectro se asigne a operadores que no pueden utilizarlo eficientemente.

Por otra parte, al considerar que la gestión actual para el espectro radioeléctrico se enfoca en la optimización, se consideran tres dimensiones: eficiencia económica, eficiencia técnica, y eficiencia social. En la eficiencia económica se pretende maximizar el valor de los servicios generados por el uso del espectro, lo que implica usar las bandas de frecuencias que aporten mayor retribución económica. En la eficiencia técnica es optimizar el espectro para que sea explotado a su máxima capacidad. Y por último, en el aspecto social, las telecomunicaciones permiten que los usuarios se beneficien con más coberturas, precios competitivos e innovación en los productos. Estos tres objetivos representan un desafío ya que pueden existir diferentes variantes entre ellos; por ejemplo, puede existir eficiencia técnica sin tener una retribución económica considerable.

Por lo tanto, esta investigación se justifica en la relevancia que tiene la asignación del espectro radioeléctrico mediante los mecanismos de asignación para las bandas de frecuencia de 5G en México, tomando como base que el uso de este recurso público impacta las telecomunicaciones, comunicación por satélite, servicios públicos y comunicación privada, etc. Además, es base principal para el desarrollo de México; es decir, una asignación ineficiente representa pérdidas económicas y una limitada asignación puede afectar todos los servicios mencionados.

## **Objetivos**

### **Objetivo general**

Análisis de la asignación de espectro radioeléctrico utilizando el modelo de subasta de aceptación diferida considerando las bandas de frecuencia de 600 MHz, 1.4 GHz, 3.3-3.45 GHz en México.

### **Objetivos específicos**

- Analizar la política pública que rige la asignación del espectro radioeléctrico de las bandas de frecuencia utilizadas en México.
- Analizar el estatus actual de cobertura en México.
- Analizar los mecanismos de asignación utilizados en México.
- Analizar tres escenarios en la gestión del espectro para asignación de espectro para bandas de frecuencia 5G considerando la cobertura móvil y utilizando el modelo de subasta de aceptación diferida.

### **Preguntas de Investigación**

¿Cuál es el contexto en el que se desarrollará la asignación de espectro 5G en México?

¿Qué beneficios ofrece la subasta de aceptación diferida en la asignación de espectro radioeléctrico para las bandas de frecuencia que se utilizarán para establecer redes 5G en México?

### **Alcances y limitaciones**

Este trabajo se limita en analizar la asignación de espectro radioeléctrico considerando el escenario nacional. Adicionalmente se realiza el análisis de asignación de espectro radioeléctrico las bandas de frecuencia de manera individual y no combinada.

# 1. MARCO CONCEPTUAL DEL ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

## 1.1 Espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es parte del espectro electromagnético que se usa para las telecomunicaciones, el cual es establecido entre los 8,3 kHz y los 3,000 GHz. Se clasifica en distintas bandas de frecuencia las cuales tienen características específicas en la propagación de señal para otorgar los servicios de las telecomunicaciones (ITU, 2016). El espectro radioeléctrico se considera un elemento natural limitado que es indispensable en el área de telecomunicaciones, por lo que debe usarse de forma racional, eficaz, económica y equitativa (Palacio Jaramillo, 2015).

De acuerdo al manual de espectro radioeléctrico de ITU los fines del espectro son la disponibilidad para uso público y privado con el fin de promover el desarrollo económico y social, así como el uso eficaz y efectivo del mismo (ITU, 2015a). Por tal razón, la gestión actual del espectro se concentra en la optimización la cual conlleva la tarea de lograr la maximización de tres aspectos: eficiencia económica, técnica y social como se muestra en la Tabla (1) (ITU, 2016)

Tabla 1. Clasificación de eficiencia espectro radioeléctrico

Tipo de eficiencia	Características
Eficiencia económica	-Maximizar el valor por la utilización de los servicios generados por el espectro. -Establecer que las bandas de frecuencia sean atribuidas para que se fomente el mayor valor económico.
Eficiencia técnica	-Permite que el espectro radioeléctrico se optimice -Reducir los niveles de interferencia a niveles aceptables.
Eficiencia social	-Permitir que múltiples operadores obtengan el acceso al espectro para ofrecer servicios a una mayor cantidad de usuarios. -Fomentar mayores coberturas. -Fomentar los precios bajos -Fomentar productos innovadores -Mejorar el acceso a servicios de telecomunicaciones

**Fuente:** Elaboración propia con base en (ITU, 2016)

Por otra parte, la gestión del espectro necesita de las legislaciones y del Reglamento de Radiocomunicaciones de cada país. Por lo cual la gestión del espectro debe permitir la disponibilidad a corto y largo plazo del espectro radioeléctrico; y cumplir con su misión en las comunicaciones públicas, comerciales privadas y radiodifusión. Por lo tanto, entre los objetivos por utilizar el espectro en cada país se encuentran (ITU, 2015a):

- Ofrecer servicios de telecomunicaciones que sean eficaces para usos comerciales y personales.
- Fomentar la innovación en infraestructura y servicios de radiocomunicaciones
- Ayudar a la seguridad y la defensa nacional.

- Contribuir en la prevención de actos delictivos
- Contribuir en el cumplimiento leyes
- Contribuir con el sistema de transporte ya sea nacional e internacional
- Conservar los recursos naturales
- Ayudar con la difusión de información
- Fomentar el interés educativo
- Incentivar la investigación científica
- Incentivar el desarrollo de recursos
- Estimular la divulgación cultural
- Reducir la brecha digital

Tomando en cuenta que el espectro radioeléctrico se utiliza para ofrecer servicios que son esenciales, las autoridades públicas tienen la obligación de garantizar que su uso es eficiente, por lo consiguiente la gestión adecuada permite lograr un equilibrio entre la concesión de licencias, los costos, la cobertura, el despliegue y las obligaciones de los operadores. La gestión es indispensable para optimizar el uso del espectro de forma social y económica (OCDE, 2016), para lo cual se identifican diferentes aspectos para lograr la adecuada gestión, la cual se observa en la Tabla (2).

*Tabla 2. Funciones de la gestión de espectro radioeléctrico*

<b>Aspecto</b>	<b>Actividades</b>
Aspectos internacionales para el espectro radioeléctrico.	-Establecer reglamentos y procedimientos de radiocomunicaciones -Impulsar el uso eficiente del espectro radioeléctrico, sin interferencias.
Leyes para la gestión nacional del espectro	-Establecer la ley de comunicaciones -Establecer los cuadros nacionales de atribución de bandas de frecuencias. -Establecer normas y procedimientos
Estructura y procesos	-Delegar competencias y responsabilidades -La asignación de frecuencias de licencias y la revisión del cumplimiento de la licencia.
Requisitos de la gestión del espectro.	-Realizar políticas y normas para la planeación de la gestión del espectro. -Elaborar el cuadro nacional de atribución de frecuencias. -Atribución y adjudicaciones <b>-Asignación de frecuencias</b> <b>-Concesión de licencias.</b> -Consultas y coordinación nacional -Especificación de normas para el uso de espectro -La comprobación de tipo técnico -La fiscalización -La cooperación internacional -La cooperación nacional

**Fuente:** Elaboración propia con base en (ITU, 2015a)

Para fines de esta investigación se enfocará en una de las funciones de la gestión de espectro radioeléctrico que es **La asignación de bandas de frecuencias y la concesión de licencias mediante subastas**. Por lo tanto, la asignación de frecuencias se logra con la coordinación y el análisis de la selección de las frecuencias más apropiadas para los sistemas de radiocomunicaciones. La asignación de frecuencias se realiza con la de concesión de licencias de acuerdo con las leyes de cada país nacional (ITU, 2015a), el cual se abarca en el siguiente apartado.

## 1.2 Aspectos internacionales en la asignación de espectro radioeléctrico

En el aspecto internacional, la ITU establece el reglamento de radiocomunicaciones el cual tiene como objetivo asegurar que los sistemas de radiocomunicaciones estén libres de interferencias, adicionalmente proporciona a todo el mundo un acceso justo al espectro de radiofrecuencias. Este documento es un manual de procedimientos para la asignación de frecuencias internacionalmente. En el artículo 5 se establecen las atribuciones de frecuencia dividiendo los términos en atribución, adjudicación y asignación. Estos términos de definen textualmente de la siguiente forma (ITU, 2020):

**Atribución** (de una banda de frecuencias): Inscripción en el Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, de una banda de frecuencias determinada, para que sea utilizada por uno o varios *servicios de radiocomunicación* terrenal o espacial o por el *servicio de radioastronomía* en condiciones especificadas. Este término se aplica también a la banda de frecuencias considerada.

**Adjudicación** (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): Inscripción de un canal determinado en un plan, adoptado por una conferencia competente, para ser utilizado por una o varias *administraciones* para un *servicio de radiocomunicación* terrenal o espacial en uno o varios países o zonas geográficas determinados y según condiciones especificadas.

**Asignación** (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico): Autorización que da una *administración* para que una *estación* radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas.

Cabe mencionar que para la organización de las atribuciones se dividió al mundo en tres regiones (Hernando Rabanos, Mendo Tomás, & Riera Salís, 2013), México forma parte de la región 2 ver Tabla (3).

Tabla 3.Regiones en el mundo

Región	Países
1	Europa, África, Siberia y algunos países de Oriente Medio
2	América
3	Australia, Sureste Asiático y parte del pacifico sur.

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Hernando Rabanos, Mendo Tomás, & Riera Salís, 2013)

Tanto como la atribución y adjudicación de manera general son utilizados en las decisiones que se establecen por ITU, no obstante, la atribución también se realiza en cada país para definir sus cuadros nacionales de atribución, asimismo la adjudicación se utiliza para el uso compartido de espectro. Mientras que el último término, la asignación de espectro queda delegado a la administración de cada país (IFT, 2020b), siguiendo las recomendaciones de la asignación de frecuencias de acuerdo al reglamento radiocomunicaciones.

### **1.3 Concesión de licencias**

El espectro puede ser asignado sin licencia o con licencia. Sin embargo, el espectro que es otorgado sin licencia puede ocasionar que los servicios presenten interferencias entre los distintos usuarios. Por lo tanto, el espectro debe ser otorgado con licencia para asegurar la calidad del servicio y se logre incentivar las inversiones que permitan desarrollar redes móviles con alto rendimiento y amplia cobertura (GSMA, 2016).

### **1.4 Mecanismos de asignación de espectro radioeléctrico**

Para poder ofrecer los diferentes servicios de radiocomunicaciones puede ser necesario formular distintos planteamientos por el uso del espectro relacionados a la concesión de licencias, siendo necesario la aplicación de mecanismos de asignación (ITU, 2015a). De acuerdo a (ITU, 2016) existen tres modelos de asignación: el primer modelo realiza la asignación de licencias con base a un mercado primario y en el cual se realizan asignaciones administrativas; el segundo está orientado al mercado y está enfocado a mercados secundarios y modelos de compartición, este modelo se realiza con subastas y el último llamado de uso general utiliza el principio de no interferencia (ITU, 2016). Los mecanismos de asignación que se han utilizado para la asignación de espectro se describen en la Tabla (4):

Tabla 4. Mecanismos de asignación para asignación de espectro radioeléctrico

Nombre	Funcionamiento	Ventajas	Desventajas
Prioridad por orden de solicitud	-Se asigna por orden de llegada	-Adecuado cuando no hay escasez de espectro.	
Sorteo	-Aplicable a una gran cantidad de solicitantes, la selección de ganadores es al azar.	-Sencillo -Rápido -Transparente	-La asignación de espectro radioeléctrico se puede realizar a alguien que no lo valore.
Concurso	Se usa para evaluar qué participante tendrá acceso al espectro.		-Demasiado tiempo y recursos -Puede no ser transparente. -Procedimientos de licitación costosos. -Solo puede usarse cuando es pequeño el número de usuarios y licencias.
Concursos con oferta financiera	Los solicitantes presentan ofertas económicas y deben cumplir con los requisitos publicados. En el concurso los licitadores fijan el valor económico del espectro.	-Se consideran las referencias del posible ganador de la licencia, así como el valor del espectro.	-Se requiere tiempo y recursos.
Subasta	Los licitadores establecen el valor a cobrar.  -El precio del espectro está definido por el mercado y se asigna a quien gana la subasta. -Se pueden establecer condiciones básicas. -Adecuada valoración del espectro (eficacia económica). -Entrada a la competencia. -Mayor transparencia.	-Fomenta el uso eficaz del espectro y el aprovechamiento del mismo.  -La transparencia permite reducir la posibilidad de impugnación. -Se otorgan las licencias a los que le asignan más valor.	-Consideran condiciones específicas. - Las subastas pueden ser ineficaces en determinados servicios y situaciones. Por ejemplo: Cuando no hay competencia por el espectro. -Maldición del vencedor -Posibilidad de colusión en la licitación.

Fuente: Elaboración propia con base en (ITU, 2015a) (ITU, 2016)

## 2. TEORÍA DE SUBASTAS

### 2.1 Asignación espectro con subastas

Considerando que existe una estrecha relación entre los mecanismos de asignación utilizados y los efectos que se generan en el mercado de las telecomunicaciones (Kuroda & Baquero Forero, 2017), se convierte en un tema relevante para los gobiernos (Given & Cave, 2017). Por lo tanto, el objetivo político principal de la gestión del espectro radioeléctrico es asegurar una adecuada asignación del recurso (Massaro, 2017), lo que conlleva a preguntarse cuál es el mecanismo de asignación apropiado para nuevas licencias, que permita maximizar su valor y generar beneficios en el aspecto social (Beltrán, 2017), y que incremente la calidad y la disponibilidad de los servicios de telecomunicaciones. Una gestión ineficaz significa una limitada infraestructura de telecomunicaciones, menos cobertura y precios mayores (OCDE, 2016).

Tradicionalmente, el método más popular para asignar el uso del espectro radioeléctrico, era un proceso administrativo conocido como audiencias comparadas o “concurso de belleza” (por la traducción literal del término en inglés “beauty contest”). En este método, la agencia gubernamental detallaba las obligaciones del concesionario, mientras que las empresas interesadas presentaban sus planes de negocios; la agencia gubernamental evaluaba este plan según los criterios establecidos y se otorgaban las licencias a las empresas que mejor cumplían con los criterios. Aunque este proceso tiene la gran ventaja de ser flexible, seleccionar y especificar criterios es un proceso que requiere mucho tiempo; sin embargo, es un método que se puede prestar a prácticas poco transparentes, por lo que puede generar corrupción o favoritismos (Jilani & Ansari, 2012).

Por estos motivos, era necesario encontrar un mejor método para asignar el espectro radioeléctrico, especialmente en un mundo totalmente interconectado, en el que la industria de las comunicaciones condenaba estos procesos completamente obsoletos (Mochón & Sáez, 2020). En este contexto, el mejor método de asignación para la adjudicación del espectro radioeléctrico han sido las subastas. Cuando se escucha el término subasta, la imagen que se viene a nuestras mentes es la de un grupo de personas que compiten entre sí para comprar un bien o un servicio, y que levantan la mano para ofrecer una cantidad de dinero, cada vez más elevada que la anterior, hasta que la autoridad competente golpea con un martillo mientras grita: ¡Vendido! Sin embargo, las subastas no se limitan a este formato. Por lo general, se supone que una subasta estándar es aquella en la que hay un solo vendedor y varios postores (Jilani & Ansari, 2012).

Algunas de las razones por las que las subastas resultan interesantes son, en primer lugar, las subastas son ampliamente utilizadas: en la venta de arte, el vino, el ganado, los automóviles usados, las propiedades inmobiliarias, etcétera. En segundo lugar, las subastas, en términos generales, son un excelente modelo de formación de precios en otros entornos de mercado y además, la teoría de la subasta también ha ayudado a desarrollar conocimientos sobre otros métodos de formación de precios, como los precios publicados y las negociaciones (Klemperer, 1999); (Swinkels, 2001).

Las subastas son transparentes, pues obligan al gobierno a ser explícito sobre los criterios, ya que las reglas de la subasta deben anunciarse con anticipación; de esta manera, después de la subasta, los solicitantes saben por qué uno ganó o perdió, esto elimina las sospechas que pudieran existir, sobre la posibilidad de si se ha cometido una conducta indebida (Jilani & Ansari, 2012)

Considerando que la subasta se ha utilizado principalmente para asignar de manera eficaz el espectro radioeléctrico (Martínez & Jiao, 2017) y permitir que los servicios que se ofrecen sean de alta calidad (GSMA, 2019a), ya que generan menos controversias políticas que los sorteos o las loterías (Binmore & Klemperer, 2002). Al mismo tiempo una subasta se caracteriza porque permite asignar recursos que son escasos a un precio determinado. El éxito de una subasta, se determina cuando se cumplen sus objetivos (Cramton, Yoav, & Steinberg, 2006).

No obstante, (Massaro, 2017) indica que, aunque las subastas se consideran como un mejor mecanismo de asignación en comparación con otros que aún presentan inconvenientes. Por ejemplo, algunas subastas los licitadores efectúan ofertas elevadas, provocando que se pague más por el espectro (GSMA, 2019a). Así mismo, autores como (Wang, Sun, & Jia, 2016) mencionan que las subastas de espectro deben evitar se genere colusión entre los participantes. En pocas palabras y de acuerdo a las reglas de la subasta surgen diferentes tipos de subasta. Por lo tanto, es importante el diseño de una subasta de espectro, en la cual se establezcan los precios adecuados y no solo se centre en incrementar los ingresos generados por la misma, eviten coaliciones y permitan la valoración correcta del espectro.

Considerando que la teoría de las subastas se remonta al trabajo William Vickrey, realizado en el año de 1961, que se centró en las ventas de un solo tipo de bien. Para los economistas, los hallazgos de Vickrey crearon expectativas sobre la posibilidad de diseñar subastas eficaces utilizando el análisis económico. Sin embargo, el mecanismo tiene profundos defectos que hacen improbable que pueda ser útil para las ventas de activos de propiedad pública, incluso cuando la eficiencia es el objetivo del diseñador de la subasta. Probablemente la desventaja más importante de la subasta Vickrey es que los ingresos que produce pueden ser muy bajos o nulos, incluso cuando los artículos que se venden son bastante valiosos. La segunda y tercera desventajas es la vulnerabilidad a la presentación de ofertas de engaño y a la colusión, incluso por parte de los licitadores perdedores. (Lawrence M & Milgrom , 2002). Por último, el hecho de que las subastas Vickrey requieran que los licitadores informen de sus valoraciones se ha considerado problemático ya que la información revelada puede ser utilizada por otros participantes para engañarles en negociaciones posteriores (Rothkopf, Teisberg, & Kahn, 1990)

Por otra parte, (Mochón & Sáez, 2020) describen los modelos de subastas que han cambiado la forma para adjudicar licencias de uso del espectro radioeléctrico:

1. Subasta simultánea de múltiples rondas. Se ofertan licencias de distintas áreas geográficas de manera simultánea en donde se comienza con precios bajos, de manera que, en cada ronda, el precio se aumenta

- en los lotes donde hay exceso de demanda. Así en cada ronda los licitantes obtienen la información sobre las valoraciones de sus competidores, reduciendo la incertidumbre y la maldición del ganador.
2. Subasta combinatoria de reloj. Esta subasta presenta dos fases: la fase de adjudicación de lotes generales y la fase de asignación de lotes determinados. La primera fase tiene dos procesos. En la primera, los participantes ofrecen una puja única por una combinación de lotes. En las rondas subsecuentes, los participantes pueden obtener la información sobre la demanda y entonces los precios se incrementan para los lotes que presentan exceso. Cuando la demanda disminuye los participantes ofertan más pujas. Finalmente, el licitador determina la combinación ganadora, la cual debe ser la que maximice el valor de todas las pujas.
  3. Subasta de incentivos. Esta subasta también tiene dos fases. La primera parte es una subasta de tipo inversa en la que se fijan los precios y la cantidad de espectro. Para lo cual, se empieza con un precio muy elevado y entre ronda y ronda se va disminuyendo, posteriormente, se efectúa una subasta ascendente que incrementa el precio.

Cabe mencionar que las subastas mencionadas fueron impulsadas por Paul Milgrom y Robert Wilson, los cuales fueron capaces de transformar globalmente los métodos de adjudicación y fijación de precios; revolucionando, entre otras, la industria de las telecomunicaciones, lo que implica un gran impacto en el beneficio social a nivel internacional. Por ello, fueron ganadores del premio Nobel de economía 2020 (Mochón & Sáez, 2020).

Durante la última década, el modelo de subasta más utilizado para asignación del espectro radioeléctrico ha sido la subasta combinatoria de reloj, desplazando a las subastas simultáneas de ronda múltiple. Esta se presentó por primera vez por (Lawrence, Cramton, & Milgrom, 2005); y poco tiempo después el regulador de telecomunicaciones del Reino Unido (Ofcom) en el año 2018 adoptó este mecanismo para dos procesos de adjudicación, desde entonces, muchos otros países han implementado el modelo de subasta combinatoria de reloj como mecanismo para adjudicar el espectro disponible. Aunque el modelo de subasta combinatoria de reloj ha demostrado ser un modelo innovador que resuelve muchos de los problemas identificados en los modelos de subasta anteriores, la experiencia de los últimos años también indica que el modelo tiene importantes debilidades. Es por ello que algunos investigadores ya han comenzado a presentar modificaciones para mejorar el modelo actual y superar las desventajas encontradas (Mochón & Saez, 2017).

Los mecanismos de asignación de espectro están evolucionando y se están desarrollando soluciones sofisticadas, como la subasta de aceptación diferida, propuesta por (Milgrom & Segal, 2020), y de la que ya hay referencias académicas en México (Gutiérrez, Gibaja, & Ovando, 2020). Los diseñadores de mercado están trabajando arduamente para descubrir nuevos procesos que satisfagan todas las necesidades de este mercado complejo y las políticas de espectro de los reguladores, por lo que será necesario realizar investigaciones para validar estas nuevas propuestas (Mochón & Saez, 2017).

## **2.2 Subastas de aceptación diferida (SAD)**

Consideremos ahora la subasta de aceptación diferida propuesta por Milgrom y Segal, la cual muestra algunas propiedades que la hacen diferente de otras subastas. La primera propiedad menciona que es a prueba de estrategia, evitando que se jueguen estrategias dominantes, debido a que los precios no se incrementan y pueden salir de la subasta en cualquier ronda cuando se decrementa el precio. Segundo, es a prueba de estrategia de grupo, ya que no existe manera de generar coalición. Tercero, establece restricciones presupuestarias y en cada ronda los precios disminuyen; y, por último, presenta privacidad del ganador y solo se revela la mínima información sobre los valores generados en la subasta, así mismo, es importante mencionar que esta subasta es computable (Milgrom & Segal, 2020).

A continuación, se detalla cada una de las propiedades de la subasta.

### **1) Reducción de precios**

Una de estas propiedades es un refuerzo de la estrategia tradicional: no sólo es una estrategia dominante para un licitador en la subasta pujar de forma veraz, sino que la puja veraz es óptima incluso si el licitador no entiende la regla de reducción de precios del subastador. La puja veraz es óptima debido que el precio nunca puede ser aumentado, y que puede salirse en cualquier momento (Milgrom & Segal, 2020). Una forma de formalizar esta propiedad es utilizar la noción de (Li, 2017) noción de "estrategia obviamente dominante", que requiere que para cualquier estrategia alternativa en cualquier conjunto de información en el juego para el que la estrategia alternativa prescribe una acción diferente, la mejor recompensa de la estrategia alternativa frente a las posibles estrategias de los otros jugadores no debe ser mayor que el peor resultado de la estrategia obviamente dominante.

### **2) Coalición**

La segunda estrategia es que no permite ninguna coalición entre los licitadores que pudiera desviar una oferta de manera que algunas participantes estén en una situación estrictamente mejor, hay que tener en cuenta que el participante que participe en una coalición no puede beneficiarse estrictamente de la desviación de la coalición. Por tanto, la puja en una subasta de aceptación diferida representa un equilibrio de Nash fuerte.

### **3) Restricción presupuestaria**

Una tercera propiedad es que cualquier SAD puede modificarse para respetar la restricción presupuestaria del subastador añadiendo rondas en las que los precios siguen bajando. Cualquier subasta SAD puede ampliarse de este modo para crear una extensión que respete el presupuesto. Esta extensión da lugar al mismo resultado que la subasta siempre satisfaga el presupuesto.

#### **4) Privacidad del ganador**

Una cuarta propiedad de la SAD con importancia tanto práctica como teórica es que, a diferencia de cualquier mecanismo directo, los postores ganadores sólo revelan la información mínima sobre sus valores necesarios para demostrar que deberían ganar. Llamamos a esta propiedad "privacidad incondicional del ganador" (UWP, por sus siglas en inglés). La importancia práctica de la UWP es que puede aliviar la preocupación de los ganadores por el mal uso de la información revelada, fomentar la participación de los licitadores.

En cuanto al funcionamiento de la subasta de aceptación diferida se considera un mecanismo en donde es necesario los participantes se comprometen a aceptar los precios de apertura y en donde en cada ronda se realiza de decremento de precios; y entonces el participante puede tomar la decisión de salir o continuar en la subasta. Por consiguiente, se genera el nuevo conjunto de participantes que se forma con los participantes que no han salido, cada postor inicia con una puntuación. Si decide quedarse se le asigna una nueva puntuación. Se asegura que la subasta termine en un número limitado de rondas, deteniéndose cuando los participantes aún activos constituyen una solución factible (Milgrom & Segal, 2020).

### 3. ASIGNACIÓN DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO EN MÉXICO

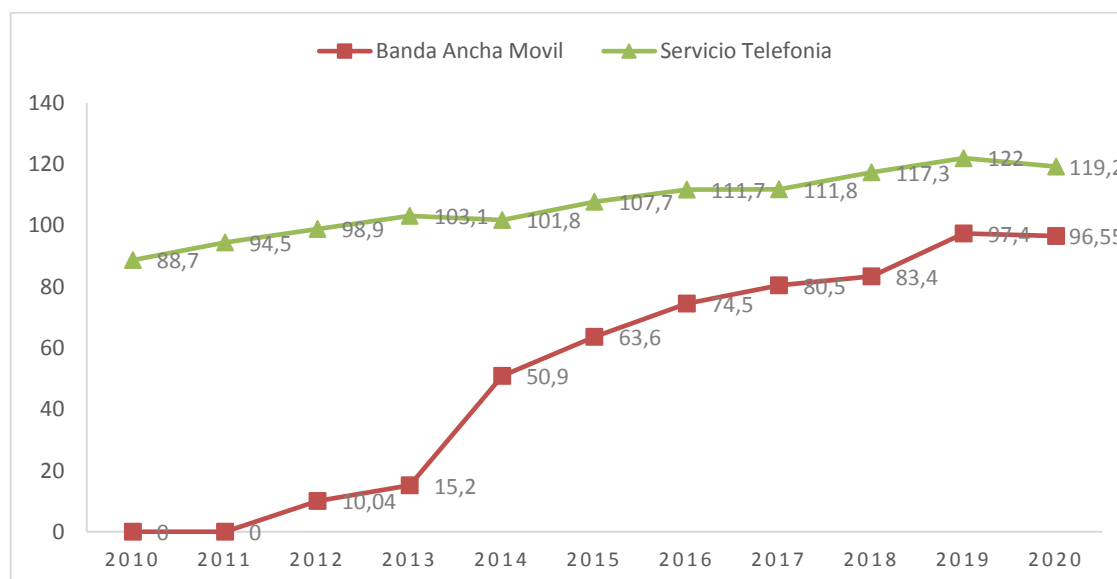
En este apartado se realiza el análisis de la evolución del mercado móvil en México, del marco regulatorio que rige la asignación de espectro radioeléctrico y de las licitaciones de espectro radioeléctrico que se han realizado en México.

#### 3.1 Evolución del mercado móvil en México

Al año 2020 México cuenta con 126,014,024 millones de habitantes a nivel nacional (IFT, 2020f) y durante el último trimestre de 2020, la industria de las telecomunicaciones representó un 3.1% % del PIB, aproximadamente 26.683 millones de dólares, al año 2020 se reportan 96,550,977 líneas de servicio de acceso a internet a nivel nacional, las cuales representan el 81% para líneas prepago y el 19% para líneas pospago, con una tasa de crecimiento del 4.6%, los operadores móviles Telcel de América Móvil tiene el 70.8% de los suscriptores, AT&T representa el 16,1%, Telefónica el 10.6 % y otros operadores el 2,5 % del mercado de servicio de acceso a internet. Por otra parte, el servicio móvil de telefonía reporta 119, 179,221 líneas en donde el 83.3% es para líneas prepago, el 13.2% líneas pospago controlado y el restante 3.5 % para líneas pospago libre, la distribución del mercado con respecto al número de líneas concentra el mercado para América Móvil con un 62.6 %, Telefónica 20.6 %, AT&T 14.7% y finalmente los operadores móviles representan el 2.1 (IFT, 2020g)

La Figura (1) muestra el comportamiento del crecimiento en México de los servicios de telefonía móvil y de banda ancha móvil desde 2010 hasta el último trimestre de 2020. Los datos muestran dos tendencias: una tasa de crecimiento pequeña para servicios de telefonía móvil, y un crecimiento al alza positiva del 2014 a 2020 para banda ancha móvil.

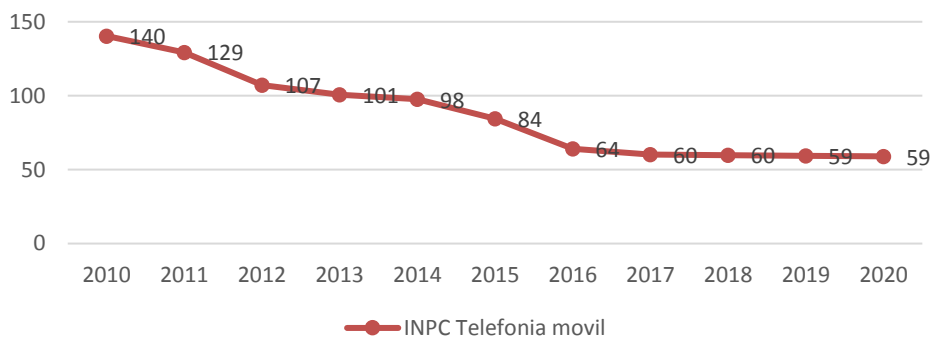
Figura 1. Crecimiento banda móvil y servicio de telefonía móvil en México



Fuente (IFT, 2010), (IFT, 2011), (IFT, 2012a), IFT(2013), IFT(2014), IFT(2015a), IFT(2016a), IFT(2017), IFT(2018a), IFT(2019), IFT(2020)

Por otra parte, los precios de telefonía móvil han bajado debido al incremento en los ingresos en el sector, el ingreso de inversión extranjera (OCDE, 2017b), la imposición de tarifas de acceso asimétricas (IFT, 2020i). Por otra parte, las tasas de terminación móvil se redujeron a cero en el caso del agente preponderante (OCDE, 2017c), por lo tanto, en los últimos diez años se han disminuido los precios un 57.86% para telefonía móvil (IFT, 2020i), tal como se muestra en la Figura (2). Así mismo, parte este efecto debido a que mejoró la calidad de los servicios y entraron nuevos competidores debido a la reforma de las telecomunicaciones (PROFECO, 2020)

Figura 2. Comparación de índice de precios al consumidor de telefonía móvil en México



Fuente IFT (2020i).

### 3.2 Reformas de telecomunicaciones

Las telecomunicaciones en México se rigen por un marco regulatorio. En primera instancia La Ley de Vías Generales de Comunicación ha sido base para el desarrollo principalmente en la telefonía móvil desde su aprobación en 1940 (PROFECO, 2020). Posteriormente, en el año de 1990 y debido al Tratado de Libre Comercio de América del Norte y por los estatutos que rigen la Organización Mundial de Comercio (1994), México modificó su marco jurídico en el sector para promover la competencia, por lo que en el año de 1995 se creó la Ley Federal de Telecomunicaciones (Álvarez, El Regulador De Telecomunicaciones: Instituto Federal De Telecomunicaciones., 2017a). Ese mismo año, el Estado crea la Comisión Federal de Telecomunicaciones (COFETEL), la cual regulaba, promovía y supervisaba el progreso eficiente de las telecomunicaciones (CFT, 1995). Por otra parte, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), en el año 2012 otorgó al Estado mexicano una serie de recomendaciones que incluían propiciar la competencia, mejorar las condiciones del mercado, el establecimiento de políticas nacionales y finalmente modificar el marco jurídico y regulatorio debido al bajo nivel de cumplimiento de objetivos en el sector (OCDE, 2017a).

Es así que el momento importante en el desarrollo de las telecomunicaciones fue la reforma constitucional del 2013, que incluyó principalmente el derecho de acceso a las tecnologías de la información y comunicaciones (TIC), la aceptación de la Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTR), y la creación del Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT) (Álvarez, Telecomunicaciones en la constitución. Ciudad de México., 2017b). Hay que mencionar, además, que este organismo es independiente, con patrimonio propio y personalidad jurídica, que regula, promociona y supervisa el uso, la explotación y aprovechamiento del espectro radioeléctrico y de los servicios de telecomunicaciones (SCT, 2020a)

Por otra parte, y como resultado de esta reforma, se generaron avances en el sector de las telecomunicaciones y se mejoraron las condiciones del mercado, debido a la inversión en tecnologías móviles se aumentó la calidad en el servicio (QoS) con un incremento en velocidades de banda ancha y transferencia de datos. Así mismo, los precios de comunicaciones móviles disminuyeron lo que permitió un incremento en los usuarios móviles, en este sentido la OCDE menciona que la adecuada aplicación de políticas públicas es crucial para generar buenos resultados en las telecomunicaciones y para consolidar las actuales reformas deben de realizarse actualizaciones a las políticas públicas con una referencia jurídica confiable y robusta para establecer bases sólidas en el sector (OCDE, 2017a)

### **3.3 Política pública que rige la asignación de espectro radioeléctrico**

En México en el artículo 78 de la LFTR se señala que las concesiones de asignación deben realizar conforme a una licitación pública en donde el Estado recibe el pago de una contraprestación por otorgar la concesión (IFT, 2009a). Por lo tanto, al momento de asignar licencias para espectro, se pueden considerar varios objetivos (GSMA, 2016), tales como:

- Impulsar el uso eficiente del espectro
- Permitir se maximice su valor económico
- Generar competencia en el sector de telecomunicaciones
- Asegurar el servicio para los usuarios

### **3.4 Licitaciones de espectro radioeléctrico en México**

En cuanto a la gestión de licitaciones de espectro actualmente en México en el artículo 78 de la LFTR se indica que, para utilizar y explotar el espectro radioeléctrico con fines comerciales o privadas, este será otorgado por licitación pública a través del pago de una contraprestación (IFT, 2020a). En esta misma ley en el artículo 99 se hace referencia que dicho pago requerirá previa revisión de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP). Así mismo, el pago se calcula de acuerdo al artículo 100 con los siguientes parámetros:

- I. Banda de frecuencia;
- II. Cantidad de espectro;
- III. Cobertura;
- IV. Vigencia de la concesión;
- V. Información del valor de mercado de las bandas de frecuencias;
- VI. Cumplir con los objetivos de la Constitución en los artículos 6o. y 28; y los indicados en el Plan Nacional de Desarrollo (LFTR, 2020).

Para el cálculo de la contraprestación en México se considera que el pago debe ser igual al monto del cálculo de la Fórmula de Conversión a los Bloques y no podrá ser menor al VMR (Valor mínimo de referencia (IFT, 2020k), el cual es expresado en pesos mexicanos y es decretado en las bases de la licitación. En la Fórmula (1) se expresa el cálculo para el pago de las contraprestaciones, la cual considera el puntaje, el tipo de competidor y el factor de escalamiento (IFT, 2018e).

*Fórmula 1. Conversión de bloques*

$$CE^J = Pt^j * (1 - x) * N \quad (1)$$

$CE^J$	Componente económico
$Pt^j$	Puntaje del participante al momento del cálculo.
$x$	0.30 si es un nuevo competidor, 0 si no es competidor nuevo
$N$	Factor de escalamiento

Con respecto a las licitaciones llevadas a cabo para la asignación de espectro radioeléctrico para bandas IMT en México, se tiene identificadas las siguientes: Licitación 1998, Licitación 2005, Licitación 21, Licitación 20, IFT-3, APP-009000896-E1-2016, IFT-7 y finalmente la IFT-10, las cuales se mencionan a continuación:

**Licitación 1997-2**

El objetivo de la licitación 1997-2 fue otorgar concesiones para usar, aprovechar y explotar la banda de frecuencia de 1.9, subastando 30 MHz y 10 MHz para cobertura regional. El otorgamiento de las bandas de frecuencia fue de los segmentos 1850-1870/1930-1950 MHz, los segmentos de ida y retorno se especifican en la Tabla (5). El mecanismo de asignación fue la subasta de simultánea ascendente (IFT, 1997a), con un plazo de concesión para 20 años.

Tabla 5. Segmentos y ancho de banda de licitación 1997-2

Región	Segmento inferior	Segmento superior	Ancho de Banda
1 a 9	1850-1865	1930-1945	30 MHz.
1 a 9	1870-1885	1950-1965	30 MHz.
1 a 9	1865-1870	1945-1950	10 MHz.

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 1997b)

### Licitación 21 (2009)

El objetivo de la licitación 21 fue el otorgamiento de las bandas de frecuencia para acceso inalámbrico fijo o móvil de los segmentos 1710-1770/2110-2170 MHz, los segmentos se especifican en la Tabla (6), el período de concesión fue de 20 años.

Tabla 6. Segmentos y ancho de banda de licitación 21(2009)

Región	Segmento inferior	Segmento superior	Ancho de Banda
1 a 9	1710-1725	2110-2125	30
1 a 9	1725-1730	2125-2130	10 MHz para cada región.
1 a 9	1730-1735	2130-2135	10 MHz para cada región.
1 a 9	1735-1740	2135-2140	10 MHz para cada región.
1 a 9	1740-1755	2140-2155	30

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2009b)

En la licitación 21 para el otorgamiento de espectro radioeléctrico se usaron dos requerimientos: los criterios no económicos y una propuesta económica. Los criterios no económicos implicaron impulsar el desarrollo de las telecomunicaciones, fortalecer la explotación de las bandas de frecuencia, fomentar la competencia y lograr mejores precios y calidad para usuarios finales. En segunda instancia los participantes realizaron la presentación de propuestas económicas, en donde la postura inicial tenía que ser igual o superior al monto mínimo establecido en el concurso.

Los participantes ganadores fueron aquellos que cumplieron en sus propuestas con los criterios del tipo no económicos y con la oferta económica más alta (IFT, 2009b).

### Licitación 20 (2010)

El objetivo de la licitación 20 fue el otorgamiento de las bandas de frecuencia de los segmentos 1850-1910/1930-1990 MHz para el servicio móvil con una vigencia de concesión de 20 años como se muestra en la Tabla (7).

Tabla 7. Segmentos y ancho de banda de licitación 2(2010)

Región	Segmento inferior	Segmento superior	Ancho de Banda
1, 2,4,6,9	1895-1900	1975-1980	10 MHz para cada región.
1,2,4,6,9	1900-1905	1980-1985	10 MHz para cada región.
1,4	1905-1910	1985-1990	10 MHz para cada región.
2,4,6,9	1895-1900	1975-1980	10 MHz para cada región.
2,6,9	1885-1890	1965-1970	10 MHz para cada región.
3,5,7	1870-1875	1950-1955	10 MHz para cada región.
3,5,7	1875-1880	1955-1960	10 MHz para cada región.
3,5,7	1880-1885	1960-1965	10 MHz para cada región.

**Fuente:** Elaboración propia con base en (IFT, 2009a)

Esta concesión estableció que se podría establecer cualquier servicio de telecomunicaciones fijas o móviles o en ambas modalidades.

El otorgamiento se llevó a cabo con dos requerimientos: los criterios no económicos y una propuesta económica. Para los criterios no económicos se consideraron: fomentar las telecomunicaciones y la sana competencia, procurar mejorar precios, fortalecer la explotación las bandas de frecuencia, la diversidad y calidad para usuarios finales. Para la propuesta económica los participantes debían ofertar una postura inicial igual o superior al monto definido en el concurso.

En esta licitación cada oferta fue revisada por un comité en donde el participante ganador fue aquel que cumplió necesariamente con ambos tipos de criterios, los criterios administrativos y la Propuesta Económica válida más alta para procurar las mejores condiciones para el Estado (IFT, 2009a).

### **IFT 3 (2015)**

Para la licitación IFT-3 se licitaron ocho bloques para la banda de 1.7 y 2.1 GHz, todos los bloques fueron de 10 MHz (5+5 MHz.), para la sub-banda AWS-1 del rango 1710-1755/2110-2155 se licitaron 3 bloques, para la sub-banda AWS-3 base del rango 1755-1770/2155-2170 fueron otros 3 bloques y finalmente para AWS-3 extendida del rango 1770-1780/2170-2180 fueron 2 bloques.

Para el proceso de asignación fue el proceso de subasta combinatoria de reloj, este tipo de subasta permite realizar ofertas por segmentos de espectro, permitiendo revelación de precio y realizar incentivos en cada ronda de reloj (IFT, 2015a). La subasta se realizó en 2 fases (IFT, 2015b):

#### **Fase I**

Para esta etapa se definió el precio y la cantidad de bloques que se podían asignar.

## **Fase II**

En la fase II se realizó el proceso de asignación, en la parte inicial se realizaron las rondas de reloj en donde se permitió a los participantes indicar el valor de la valuación de espectro radioeléctrico. En esta subasta los participantes podían realizar ofertas económicas considerando bloques de las diferentes sub-bandas. En cada ronda se determinó el precio de reloj el cual se incrementó con respecto al nivel de demanda de disponibilidad de cada bloque. El incremento en precios fue de un 3% y 10 % con la posibilidad que en las primeras rondas se permitan aumentos mayores (IFT, 2015a). Las rondas de la subasta concluyeron cuando se consiguió el equilibrio entre el número de bloques disponibles y los bloques que se demandan o cuando la demanda fue inferior a los bloques disponibles. Los ganadores fueron aquellos que cumplieron con las ofertas económicas válidas que tenían el valor total más alto (IFT, 2015c).

### **APP-009000896-E1-2016**

Para la banda de 700 MHz fueron asignados 90 MHz con el fin de realizar la creación de una red pública compartida de telecomunicaciones que otorgará cobertura. El objetivo de esta asignación fue de promover el acceso a la banda ancha e incrementar la calidad de servicios móviles (SCT, 2015a). Para esta asignación (SCT, 2015b) se realizó la licitación APP-009000896-E1-2016 que se llevó a cabo con un concurso a sobre cerrado, en donde cada participante presentó una oferta técnica y económica. En la primera etapa del concurso se evaluó la etapa técnica, en donde los participantes deberían cumplir los siguientes puntos:

- a) Acreditar la capacidad para gestionar, administrar, implementar, diseñar, financiar, construir, operar y mantener redes de telecomunicaciones.
- b) Acreditar solvencia económica, financiera y técnica.
- c) Obtener resolución favorable de competencia económica del IFT.

Para la segunda etapa se realizó evaluación económica, la cual hizo ganador al participante con mayor población involucrada. En el caso de que hubiera empate, la propuesta a considerar era la que propuso mayor guante.

### **IFT-7 (2018)**

En esta licitación se subastaron cuatro bloques pareados de 10+10 MHz para la categoría FDD y 2 bloques no pareados de 20 MHz para la categoría TDD, utilizando la subasta con rondas de reloj. La duración de cada ronda fue de 30 minutos, con un máximo de siete rondas por día. Cada participante presentó sus ofertas cuando la ronda de reloj inició. En cada ronda de reloj se estableció el puntaje de reloj y el componente económico

Las condiciones del mecanismo de asignación fueron:

- a) Los participantes no podían aumentar su oferta en la siguiente ronda de reloj.
- b) Los participantes podían reducir el número de bloques en una categoría en particular.
- c) Los participantes podían cambiar los bloques de una categoría.
- d) Los participantes no podían retirarse en las categorías o realizar cambios si no había exceso de demanda.
- e) Cada bloque a subastar tenía un valor mínimo de referencia (VMR) por bloque de 16, 126,705 dólares con un puntaje de 350.
- f) La contraprestación no podía ser menor al VMR cuando exista un ganador.
- g) Se utiliza la fórmula (1) para conversión de bloques.
- h) Solo una oferta por participantes podrá ser la ganadora.
- i) La vigencia para la concesión es de 20 años.

Para la realización de esta licitación el procedimiento fue realizado en dos etapas, una de adjudicación y una de asignación. En la primera etapa, se adjudicaron bloques sin una frecuencia específica y los participantes estuvieron sujetos a límites en acumulación de espectro, en la fase uno con un 32.5% hasta 194 MHz y en la fase dos hasta un 35% hasta 209.42 MHz (IFT, 2018a).

### **Fase I**

Para esta en cada ronda se indicó el puntaje de reloj y los participantes seleccionaron el número de bloques. El puntaje de reloj aumentó en la siguiente ronda cuando la oferta fue mayor al número de bloques, es decir exceso de demanda, de lo contrario el puntaje se mantuvo sin cambios. La fase I continuó hasta que la demanda de ambas categorías fuera igual o menor al total de bloques disponibles. Si al terminar la fase I quedaron bloques no adjudicados, se realizó una fase II con rondas adicionales, cumpliendo con límites de acumulación de espectro. Esta fase terminó cuando no existía demanda en exceso. El puntaje fue igual al puntaje límite de la fase I, sino existía incremento del puntaje, se estableció el equivalente al puntaje mínimo de VMR, en cada ronda el puntaje se incrementó en 5% si había demanda. En este mecanismo no ha posibilidad de disminución de puntaje.

### **Fase II**

En esta fase se descontaban los bloques ya adquiridos en la fase I, los participantes recibían un punto que era equivalente a un bloque. Esta fase seguía hasta que no había demanda en exceso en las dos categorías. Si había bloques no asignados serán declarados desiertos.

Finalmente para determinar el ganador las ofertas cumplieron primero que los precios fueran mayores a cero, segundo ser la más alta en precios; tercero si hubiera múltiples ofertas que cumplieran se consideraron las que minimizaron la suma de precios de las ofertas, si aún hubiera múltiples combinaciones que cumplieran las

condiciones, se tomó la combinación que minimizó las diferencias entre los precios de cada participante y se calculó el costo de oportunidad que es el monto de la oferta ganadora menos la diferencia entre el monto total de la combinación de ofertas ganadoras y el monto de combinación de ofertas.

### IFT-10 (2021)

De acuerdo a (IFT, 2021d) la licitación IFT-10 contempló concesionar las bandas de frecuencias con vigencia de 20 años para la prestación de servicios de Acceso Inalámbrico, en los segmentos 814-824 / 859-869 MHz, 1755-1760 / 2155-2160 MHz, 1910-1915 / 1990-1995 MHz y 2500-2530 / 2620-2650 MHz. En la Tabla (8) se describen las características de las bandas de frecuencia que se licitaron:

Tabla 8. Características licitación IFT-10

Banda	Bloque	Espectro	Tamaño	Regiones
814-824 MHz / 859-869 MHz	Bloque A1	Pareado		Diversos segmentos de regiones 1 a 4
814-824 MHz / 859- 869 MHz	Bloques A5.01-A9.05 A5.01, A5.02, A5.03, A5.04, A5.05, A5.06, A5.07, A6.01, A6.02, A6.03, A6.04, A6.05, A6.06, A7.01, A7.02, A7.03, A7.04, A7.05, A7.06, A7.07, A7.08, A7.09, A7.10, A7.11, A8.01, A8.02, A8.03, A8.04, A8.05, A8.06, A8.07, A8.08, A9.01, A9.02, A9.03, A9.04 A9.05	Pareado	10 + 10 MHz	
1755-1760 MHz 2155-2160 MHz	Bloque B1	Pareado	5 + 5 MHz	
2500-2530 MHz 2620-2650 MHz	Bloque C1.			Diversos segmentos en las nueve regiones.
1910-1915 MHz 1990-1995 MHz	Bloque D1	Pareado	5 + 5 MHz	

**Fuente:** Elaboración propia con base en (IFT, 2021d)

En esta licitación se establecieron obligaciones de cobertura para el Bloque A5.01-A9.05 en la Banda 800 MHz en las regiones 5 a 9, se consideraron localidades con poblaciones mayores a 300 habitantes que no contaban con servicio móvil. En el Bloque C1 se contemplaron 30 de 52 localidades entre 1,000 y 5,000 habitantes que no contaban con servicio móvil. Así mismo, para la banda de 2.5 GHz desplegar infraestructura

para ofrecer servicios en al menos tres zonas metropolitanas definidas en el INEGI. Para los bloques: Bloque B1 y el Bloque D1 se consideraron 100 localidades con poblaciones mayores de 300 habitantes ubicados en los estados de Chiapas, Oaxaca, Guerrero y Veracruz. En todos los bloques se condicionó un periodo de dos años a la entrega de la concesión para cubrir un 80% de la población de la localidad.

En resumen, en la Tabla (9) se muestran las licitaciones de bandas IMT que se han realizado en México y se especifica el nombre de la licitación, el año de realización, el operador ganador, el mecanismo de asignación utilizado y el pago realizado en dólares, como se puede apreciar en los últimos cinco años México ha utilizado solo 2 tipos de subastas para la asignación de espectro, la subasta Combinatoria de reloj y Subasta de rondas de reloj.

Tabla 9.-. Licitaciones en México

Licitación Concurso	Año	Banda	Ganador	Mecanismo de asignación	Pago de Contraprestación en dólares.	Referencia
Licitación 1997-2	1998	1.9 GHz	Pegaso, Unefon Servicios de Acceso Inalámbrico Telcel Iusacell	Subasta simultanea ascendente	\$212.444.041 \$213.995.059  \$1.968.058 \$124.121.447 \$48.139.440	(IFT, 2016)
Licitación 2005	2005	1.9 GHz	Telcel Pegaso Iusacell	Concurso	\$5.120.718 \$1.275.322 \$2.273.014	(IFT, 2016)
Licitación 21	2009	1.7 y 2.1 GHz	Telcel Pegaso --Movistar AT&T	Concurso	\$179.491.547 \$60.268.726 \$8.530.173	(IFT, 2009c)
Licitación 20	2010	1.9 GHz	Telecomunicaciones del Golfo (AT&T) Nextel (AT&T) Pegaso (Movistar) AT&T	Concurso	\$65.439.000 \$48.289.000 \$98.691.300	(IFT, 2009d)
P/IFT/210819/410	2013	2.5 GHz	Telcel (Cesión de derechos de Ultravisión)	N/A	\$251.008.415	(IFT, 2018c) (AméricaMóvil, 2017)
IFT-3	2015	1.7 y 2.1 GHz	AT&T Telcel	Subasta Combinatoria de reloj	\$48.809.995 \$99.261.311	(IFT, 2015d)
APP-009000896- E1-2016	2016	700	Altan	Concurso a sobre cerrado	\$0	(SCT, 2015b) (SCT, 2016)
IFT-7	2018	2.5 GHz	AT&T Movistar	Subasta de rondas de reloj	\$66.244.984 \$33.117.700	(IFT, 2018a) (IFT, 2018d)
IFT-10	2021	800 MHz 800 MHz 1.7 y 2.1 1.9 GHz 2.5 GHz	AT&T Telcel Sin asignación Sin asignación Sin asignación		\$49.801.537 \$12.440.602	(IFT, 2021e)

Fuente: Elaboración propia

## 4. BANDAS DE FRECUENCIA PARA 5G

### 4.1 Importancia de 5G

En las últimas décadas, las tecnologías inalámbricas móviles han experimentado varias generaciones de revolución y evolución tecnológica, como se muestra en la Tabla (10). (APIEM, 2020) hace un repaso sobre cómo la comunicación inalámbrica móvil ha evolucionado de una generación a la siguiente, lo que incluye mejoras lo que una generación tiene sobre la anterior. La primera generación llamada 1G permitió establecer el servicio de voz, mientras que en la tecnología 2G se introdujo la capacidad y la cobertura. La 3G proporcionó un aumento de la velocidad en la que se envían los datos, lo que permitió también el surgimiento de 4G. Ahora, el objetivo de 5G es proporcionar acceso simultáneo a diferentes tecnologías inalámbricas.

Tabla 10. Comparación de las tecnologías inalámbricas móviles

Tecnología	Año	Aplicaciones	Velocidad de transmisión
1G	1970-1984	Voz	14,4 Kbps
2G	1990's	Voz, sms, mms, navegación limitada	56,115 Kbps
3G	2000's	Navegación alta velocidad, nuevas aplicaciones	5,8-14,4 Mbps
4G	2010's	Video conferencia, TV en movilidad	100-300 Mbps
5G	2015	Aplicaciones multipropósito, internet de las cosas, AR/VR, otros	100-5000 Mbps

**Fuente:** Elaboración propia con base en (APIEM, 2020)

El estándar de comunicación móvil 5G, también denominado IMT-2020 pretende mejorar los parámetros de la generación anterior de sistemas, incluida la última modificación de 4G, o IMT-Advanced también denominado 4.5G. Además, el 5G pretende combinar diferentes aplicaciones y sistemas de comunicación móvil en red única con el fin de realizar diferentes funciones de manera más eficiente. Así, el estándar 5G implica el uso de nuevos enfoques para el desarrollo de redes móviles y encontrar nuevas técnicas para cumplir los requisitos de IMT-2020. Los requisitos generales del 5G determinan los parámetros del sistema como los parámetros de la capa física que incluye las bandas de frecuencia y el ancho de banda, ver Tabla (11) (Tikhomirov, Omelyanchuk, & Semenova, 2018).

Tabla 11. Características de 4G y 5G

IMT	Velocidad de datos (GBps)	Capacidad de tráfico del área (Mbps/m)	de Eficiencia espectral (bps/Hz)	Movilidad (km/h)	Latencia (ms)	Densidad de conexión (disp/km <sup>2</sup> )	de Latencia
4G	1	0.1	10	350	10	10 <sup>5</sup>	
5G	20 bajada/10Gps Subida	10	30 bajada/15 Subida	500	4 para eMBB y 1 para URLLC	10 <sup>6</sup>	10-20ms

**Fuente:** Elaboración propia con base en (Tikhomirov, Omelyanchuk, & Semenova, 2018) , (ITU, 2017)

En este sentido, actualmente nos encontramos en la era del “Internet de Todo” (Abdelwahab, Hamdaoui, Guizani, & Rayes, 2014), en donde la población, los procesos, los datos y los objetos, se interconectan y se comunican (Ramirez, 2015) . En este contexto, el “Internet de las cosas” se ha extendido a casi todos los aspectos de nuestras vidas (Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, & Ayyash, 2015), encontramos comunicaciones de dispositivo a dispositivo (Asadi & Mancuso, 2014), comunicaciones de máquina a máquina (Wu, Nageen, Johnson, & Talwar, 2011), redes vehiculares (Karagiannis, y otros, 2011) y hasta vehículos aéreos no tripulados (Abdelwahab et al., 2014). También podemos hacer computación de borde móvil (Mach & Becvar, 2017), computación en la nube (Kumar & Lu, 2010) y el uso de redes de acceso por radio en la nube (Checko, y otros, 2015). En el centro de esta era del Internet de Todo, se encuentra la red 5G, integrando todas estas tecnologías tan diversas. En este contexto, la disponibilidad del espectro radioeléctrico, es el punto clave para lograr el éxito de nuevos servicios y soluciones 5G; asimismo, dependerá de la valoración adecuada del espectro, como parte de su asignación y fijación de precios (Matinmikko-Blue, y otros, 2019)

(Beltran & Massaro, 2018) utilizaron la guía propuesta de (Pogorel, 2007) para evaluar tres casos de estudio sobre el método de asignación para compartir el espectro para 5G, y encontraron que se han utilizado los métodos basados en el mercado para la asignación de espectro. Sin embargo, Matinmikko-Blue et al. (2019), tras analizar las asignaciones del espectro para 5G en 12 países, demostraron que existe una gran divergencia en los enfoques que se han adoptado. En América Latina, el despliegue de 5G está en proceso, motivo por el cual el progreso entre países es desigual y depende de los planes de los operadores, de los procesos políticos, la disponibilidad de espectro y otros factores internos (Arias, Salado , Medina, & Zambrano, 2021).

La asignación del espectro radioeléctrico para 5G permitirá lograr los objetivos establecidos en la Organización de las Naciones Unidas, los cuales consideran como esencial incrementar el acceso a la tecnología y a la información (Naciones Unidas, 2019). Es por ello, que las investigaciones futuras sobre la asignación de espectro radioeléctrico de bandas de frecuencia para 5G en México abre la posibilidad de proponer marcos de espectro novedosos para superar los problemas actuales (Lopez-Lopez , y otros, 2020).

## 4.2 Requerimientos de espectro radioeléctrico para 5G

La tecnología 5G permitirá velocidades superiores a las velocidades actuales, así como de aumentar los servicios móviles y el uso de datos. De este modo proporcionará tecnologías para el funcionamiento de Vehículos Autónomos, Inteligencia Artificial, Robótica, Realidad Virtual (RV), Realidad Aumentada (RA), Internet de las Cosas (IoT) y Ciudades Inteligentes, entre otras. Es por ello que se necesita espectro armonizado a nivel mundial en las bandas bajas, medias y altas (ANE, 2020). Para la cobertura en zonas rurales y urbanas se emplean las bandas bajas. Las bandas medias ofrecen una mezcla de cobertura y capacidad y las bandas altas son necesarias para lograr velocidades ultra altas. (Lindeke, 2018). En la Tabla (12) se hace el resumen de las características de este tipo de bandas.

Tabla 12. Bandas claves para 5G

Tipo de Banda	Frecuencia	Cobertura	Ancho de banda	Latencia	Comentarios
Baja	<1 GHz	30 km	10 MHz.	10ms	Pueden utilizarse directamente para 5G las bandas de frecuencias de 600 y 700 MHz.
Media	1 GHz -2.6 GHz	15km	40 MHz.		Las bandas existentes pueden reorganizarse y utilizarse para 5g.
Media	3.3 GHz – 6 GHz	8 km	>100 MHz.		Generalmente son nuevas bandas para servicios móviles y se utilizarán para 5G.
Alta	24 GHz-40 GHz	<1 km	>800-1000 MHz.	1 ms	Son las nuevas bandas para 5G.

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2019b), (GSMA, 2019d)

Considerando que para el despliegue de tecnología 5G se requiere de bandas de frecuencias bajas, medias y altas, es necesario considerar que las bandas de frecuencia existentes que son inferiores a 4 GHz deben ser reorganizadas gradualmente para ser usadas para este tipo de tecnología. La reorganización debe permitir que los operadores sean capaces de realizar la transición en la cual se garantice que los clientes con tecnologías inferiores mantengan el servicio, por lo tanto, la reorganización de algunas bandas que fueron usadas para 4G tales como las bandas de 2500 o 2600 MHz 800 MHz y 700 MHz deben considerarse para reorganización.

Por otra parte, las nuevas bandas de frecuencia que no se han usado incluyen las bandas de frecuencia: 3 GHz (3,3 a 6 GHz), 24 GHz, a 40 GHz, las cuales se asignarán a operadores de redes móviles mediante licencias considerando la neutralidad tecnológica. En este sentido la neutralidad tecnológica permitirá la flexibilidad

para utilizar los estándares del 3GPP dentro de las bandas de frecuencia con licencia de acuerdo a las normativas para el despliegue de las redes de radiocomunicaciones, por lo tanto, la neutralidad tecnológica debe permitir que los operadores móviles replacen tecnologías anteriores a tecnologías nuevas. Esto implica el uso de tecnología estandarizada en las redes móviles que permitan el uso de cualquier tecnología con los estándares que cumplan con las normativas para el despliegue de 5G (GSMA, 2019d).

En las siguientes subsecciones de este capítulo se proporcionan las características generales de cada banda de frecuencia contempladas en México para proporcionar el servicio de 5G.

### 4.3 Banda de 600 MHz

La banda de 600 MHz abarca el rango de 614-698 MHz y se asigna primariamente para radiodifusión fijo y móvil con base al Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (IFT, 2012b). Esta banda se caracteriza por su capacidad de propagación de señales, lo que implica que sea posible aumentar la cobertura de banda ancha inalámbrica, principalmente en zonas con baja densidad, permitiendo de manera más económica y rápida el despliegue. Otra característica es la penetración indoor, es decir la que se produce al interior de edificios (5G-Americas, 2019).

Esta banda ofrece oportunidades de brindar mejores coberturas para 5G (IFT, 2019a) y va de las frecuencias 614 a 698 MHz. Contiene 7 bloques de 5 MHz cada uno, denotados por las letras A a la G que permitirán utilizar 35+35 MHz para un total de 70 MHz, ver Figura (3). La banda de enlace ascendente (Uplink) está conformada de las frecuencias 663 a 698 MHz y la banda de enlace descendente (Downlink) de las frecuencias 617-652 MHz (FCC, 2019).

Figura 3. Distribución de banda de 600 MHz.



Elaboración propia con base en (FCC, 2019)

#### Atribución RR UIT

Sobre la nota 5.293 de atribución RR UIT en México la banda de 600 MHz está atribuida en forma principal al servicio móvil, en la nota 5.308A, se utiliza para las Telecomunicaciones Móviles Internacionales (IMT). Ver Tabla (13).

Tabla 13. Atribución banda 614-698 MHz

Atribución RR UIT	Atribución CNAF
Radiodifusión	Móvil
Fijo	Fijo
Móvil	

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2020a)

### Estado actual

La banda de frecuencias 614-698 MHz fue reorganizada con el fin de ofrecer servicios de banda ancha.

### Estandarización

El organismo 3GPP tomó la iniciativa para el desarrollo de la banda de 600 MHz, en el que se considera el segmento ascendente de los 663 a los 698 MHz y el segmento descendente de los 617 a los 652 MHz.

### Economías de escala

La banda de frecuencias de 600 MHz está posicionada en un proceso de contar con economías a escala, dado que tiene estándares para el desarrollo de 5G. En consecuencia, cuenta con expectativas potenciales para obtener la armonización y los equipos necesarios para que tenga un costo adecuado para los usuarios interesados en utilizarla (IFT, 2020a)

#### 4.4 Banda de 1.4 GHz

La banda de 1.4 GHz corresponde al rango (1452-1492 MHz) y es también conocida como banda L. Esta frecuencia es muy atractiva para los servicios IMT, por los siguientes motivos:

- i) Brinda un ancho de banda considerable, es decir, hasta 80 MHz de enlace descendente en total.
- ii) Se presenta en un rango de frecuencia relativamente bajo, por lo que proporcionan una cobertura aceptable en exteriores e interiores como edificios.
- iii) Su disponibilidad se presenta con relativa rapidez dado el uso actual limitado de la banda.
- iv) Pueden armonizarse a nivel mundial, suponiendo una importante economía de escala.

Este conjunto de características permite que el uso de la banda para las IMT se brinde a bajo costo, lo que se refleja en una forma de ampliar la capacidad de banda ancha móvil en pos de satisfacer el rápido crecimiento de la demanda, mejorar la cobertura en zonas rurales, así como la calidad del servicio. Por otra parte, los beneficios económicos incluyen el ahorro de costos de red, lo que puede repercutir posteriormente en los usuarios con precios más bajos, así como mejora de la cobertura y calidad del servicio para éstos (GSMA, 2015). En la Figura (4) se muestra los bloques no pareados de la banda 1.4 GHz.

Figura 4. Banda de 1.4 GHz.

NO PAREADOS								TOTAL
A	B	C	D	E	F	G	H	
1452-1457	1457-1462	1462-1467	1467-1472	1472-1477	1477-1482	1482-1487	1487-1492	
5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	5 Mhz	40 Mhz
DISPONIBLE								

Fuente: Elaboración propia con base en (ECC, 2013)

#### Atribución RR UIT

En la Región 2 las bandas de frecuencia 1427-1518 MHz han sido identificadas por las administraciones para su utilización e implementación en las bandas IMT de acuerdo a la Resolución 223 (Rev.CMR-15), que se considera como Atribución CNAF para fijo y móvil como se aprecia en la Tabla (14).

Tabla 14. Atribución banda 1.4 GHz

Atribución RR UIT	Atribución CNAF
Fijo	Fijo
Móvil	
Radiodifusión	Móvil
Radiodifusión por satélite	

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2021a)

### Estado actual

En la actualidad, la banda de frecuencias 1427-1518 MHz (Banda L), se identificó en la Región 2 como una de las más adecuadas para el despliegue de las IMT y su posible implementación de servicios de banda ancha móvil de acuerdo con la Resolución 223 de la UIT (Rev. CMR-15).

### Estandarización

En lo referido a los trabajos en la UIT y de acuerdo a la recomendación UIT-R M.1036 esta banda es considerada como parte de la Banda L. A ello se adiciona que el organismo 3GPP incluyó distintos estándares aplicables a la Banda L para su uso en banda ancha móvil. Se han identificado particularmente como B11, B21, B45, B50, B51 y B74, en los que se considera el rango 1427-1518 MHz, o partes de éste con duplexajes TDD o FDD, así como también los estándares n50, n51 y n74 para aplicaciones móviles de quinta generación.

### Economías de escala

La Banda L es sustentada por economías de escala suficientes para proveer servicios móviles de banda ancha al disponer de estándares para el desarrollo de tecnología 5G. Como consecuencia de ello, y toda vez que esta banda es considerada con altas expectativas dentro de la Región para lograr un grado de armonización, así como se puedan contar con costos accesibles para los usuarios (IFT, 2021a).

## 4.5 Banda de 3.3-3.45 GHz

A nivel mundial las frecuencias en el espectro 3,3-4,2 GHz se están utilizando como la base para las primeras implementaciones de 5G. Este rango se ubica en un punto de equilibrio entre capacidad y cobertura que proporciona el marco para la primera conectividad 5G. Esta planificación de las frecuencias se ha llevado a cabo a lo largo de múltiples ciclos de la CMR y el trabajo de armonización continúa actualmente. Aunque en los últimos años el estatus del rango de 3,5 GHz considerada como la principal banda de lanzamiento del 5G se ha hecho de manera global y con esta situación deviene un ecosistema mucho más amplio, con diversidad de dispositivos y una mayor competencia. Además, las redes 5G también están llegando a las ondas milimétricas para conseguir mayor capacidad, así como también utilizarán frecuencias más bajas para proporcionar una mayor cobertura (GSMA, 2021). En la Figura (5) se observa la distribución de la banda de 3.3-3.45 GHz que muestra la división de los bloques.

Figura 5. Banda 3.5 GHz

UPLINK/DOWNLINK(TDD)				UPLINK/DOWNLINK(TDD)								Total
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
3300-3325	3325-3350	3350-3375	3375-3400	3400-3425	3425-3450	3450-3475	3475-3500	3500-3525	3525-3550	3550-3575	3575-3600	
25 Mhz	25Mhz	25 Mhz	25 Mhz	25 Mhz	25Mhz	25 Mhz	25 Mhz	25 Mhz	25Mhz	25 Mhz	25 Mhz	300 Mhz

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2019a), (Allnet, 2020)

### Atribución RR UIT

La banda de frecuencias 3400-3500 MHz es considerada para el servicio móvil, de acuerdo a la nota 5.431B y se ha identificado para condiciones propicias para bandas IMT. Sobre las notas Nacionales MX213, los rangos de frecuencias 3.425 - 3.500/3.525 - 3.600 GHz al día de hoy están considerados para ofrecer el servicio de acceso inalámbrico fijo o móvil. En la Tabla (15) se observa la atribución RR UIT y la atribución CNAF.

Tabla 15. Atribución banda 3.5 GHz

Atribución RR UIT	Atribución CNAF
Fijo	Fijo
Fijo por satélite	Fijo por satélite
Móvil	Móvil
Radiodifusión	Radiodifusión

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2021b)

### Estado Actual

En México la banda de frecuencias en el rango 3.4-3.6 GHz permitirá otorgar el servicio de acceso inalámbrico fijo en segmentos como 3.450-3.500 GHz, 3.500-3.550 GHz y 3.550-3.600 GHz. A su vez, con las recomendaciones CMR-15 del UIT-R y la nota 5.431B del RR, la banda de frecuencias 3.4-3.6 GHz puede ser utilizada en la Región 2 para desarrollar sistemas IMT. Y de acuerdo con la Recomendación UIT-R M.1036 para la banda de frecuencias 3.4-3.6 GHz el uso es el modo dúplex TDD.

### Estandarización

En relación con la estandarización de la banda, la banda 3.4-3.6 GHz considera el modo dúplex TDD. A la vez que conjuntamente tiene la aprobación en la Región 2 que permitirá el uso de estas bandas de frecuencias para servicios IMT.

### Economías de Escala

Es relevante mencionar que esta banda se encuentra en las frecuencias más utilizadas para sistemas de última generación a nivel mundial, por lo que se prevé pueda proveer el servicio de acceso inalámbrico (IFT, 2021b).

## **4.6 Resumen de características de Bandas de Frecuencias para 5G**

La tecnología 5G requiere una cantidad considerable de espectro, por lo que en el análisis realizado a las bandas de frecuencia se obtuvo que la tecnología 5G necesita tres rangos de frecuencia para otorgar una cobertura amplia: Los tres rangos son: Por debajo de 1 GHz, entre 1-6 GHz y por encima de 6 GHz como se muestra en la Tabla (16).

Tabla 16. Resultados de características de Bandas de Frecuencia para 5G

Banda de Frecuencia	600 MHz	1.4 GHz	3.3-3.45 GHz	6 GHz
Atenuación	107dB	115dB	122dB-123dB	127dB
Cobertura	Permite una cobertura extensa en zonas urbanas, suburbanas y rurales, y proporciona el apoyo de los servicios de la Internet de las Cosas (IoT).	Otorga cobertura y capacidad.	<Cobertura	Corto alcance
Penetración	Alta penetración en interiores			
Capacidad	Limitada	Aumenta	Aumenta	Muy Alta
Velocidad	Baja velocidad de transmisión	Aumenta	Aumenta	Velocidades de banda ancha ultra-altas
Características	Tendrá un crecimiento continuo para los servicios de banda ancha móvil.	Permitirán cobertura y capacidad para proveer el incremento de tráfico de datos.	Necesita ser completada por otras bandas.	Se utilizarán para una gran cantidad de usuarios y con anchos de banda de varios MHz.

**Fuente:** Elaboración propia (APIEM, 2020), (GSMA, 2019b)

\*La atenuación se calcula a una distancia de 10 Km

Con respecto a las disposiciones técnicas de las bandas de frecuencia seleccionadas en México para las IMT-2020 en la Tabla (17) se muestran las características que permitirán garantizar la demanda de espectro para las tecnologías 5G.

Tabla 17. Características técnicas para 5G

Banda/Característica	600 MHz	1400 MHz	3500 MHz	>6 GHz
Técnica de Duplexación	FDD	SDL	TDD	TDD
Rango de subida (MHz)	663–698	NA	3300–3700 (Américas)	
Rango de Bajada (MHz)	617–652	1427- 1517		
Banda 5G	n71	n75, n76	n77, n78	

**Fuente:** Elaboración propia con base en (ANE, 2020)

## **5. COBERTURA**

### **5.1 Marco jurídico de cobertura universal en México**

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos indica que el Estado tiene que garantizar el acceso a las tecnologías de la información y comunicación (TIC) y a los servicios de radiodifusión y telecomunicaciones, los cuales incluyen la banda ancha y el internet. En el artículo sexto inciso B fracción II menciona que el Estado debe garantizar las condiciones de cobertura, competencia, calidad, interconexión, y acceso libre. Al mismo tiempo se decretan mandatos para lograr lo establecido en la constitución otorgando atribuciones a la SCT y al IFT (Const, 2021).

En la LFTR en el título décimo referente a la cobertura universal en el artículo 15, fracción XXXI menciona que se deben generar las acciones indispensables para contribuir en la cobertura, además, en el título décimo referente a la cobertura universal en los artículos 210 y 211 se establece que la SCT debe realizar de forma anual un programa de cobertura social que permita aumentar la cobertura y generar mayor progreso de telecomunicaciones (LFTR, 2021).

Por otra parte, el programa sectorial de comunicaciones y transportes (PSCyT) del periodo 2020 al 2024 y que es resultado del plan nacional de desarrollo 2019-2024 en su objetivo 3 establece promover la cobertura en telecomunicaciones y radiodifusión, considerando grupos prioritarios y en condición de vulnerabilidad con el fin de promover el desarrollo tecnológico y la inclusión (SCT, 2020a).

### **5.2 Cobertura en México**

Actualmente (IFT, 2020c) menciona que en México se ofrece servicios móviles con los operadores Telcel, AT&T, Telefónica Movistar y ALTAN, con cobertura para las tecnologías de 2G, 3G, 4G, nuestro país aún no logra la cobertura universal y el bienestar general de la población. Los retos importantes es que se presenta alta dispersión poblacional, una complicada orografía del país y niveles de ingreso bajos en algunos sectores de la población (SCT, 2020a). Actualmente el IFT clasifica la cobertura en garantizada, diferenciada, poblacional y territorial como se muestra en la Tabla (18).

Tabla 18. Tipos de cobertura

<b>Cobertura</b>	<b>Descripción</b>
Garantizada	Son las zonas geográficas en donde los operadores tienen la obligación de cumplir con cobertura cumpliendo con todos los índices de calidad establecidos.
Diferenciada	Son las zonas geográficas en donde de forma conjunta incluye la cobertura No Garantizada y la Cobertura Garantizada*
Poblacional	Porcentaje de la población que tiene cobertura de servicio móvil.
Territorial	Es el porcentaje del territorio que cuenta con cobertura con servicio móvil para alguna tecnológica de acceso.

**Fuente:** Elaboración propia con base en (IFT, 2020c)

Por otra parte, (SEGOB, 2021), en el año del 2019, la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) con base en la Ley Federal de Telecomunicaciones Radiodifusión desarrollo el programa de Cobertura Social, en donde selecciona las localidades que necesitan de atención prioritarias y que no cuentan con cobertura de servicio de Internet en zonas rurales y urbanas del país, tomando en cuenta los siguientes criterios:

- 1) Localidades de alta y muy alta marginación.
- 2) Localidades con alta presencia de población indígena.
- 3) Localidades alejadas de las zonas con servicio de Internet.
- 4) Localidades del Decreto por el que se formula la Declaratoria de las Zonas de Atención Prioritaria en cumplimiento a la Ley General de Desarrollo Social;
- 5) Localidades que son cabeceras municipales sin cobertura de servicio de Internet.
- 6) Localidades con solicitud de atención ciudadana de acceso a servicio de Internet.

Esta información representa un insumo importante para el IFT, ya que como organismo regulador puede establecer obligaciones de cobertura y de conectividad para los concesionarios en sitios públicos

### 5.3 Cobertura móvil y sus efectos

El espectro radioeléctrico se encuentra cada vez más ocupado por los servicios de comunicación móvil. Actualmente, en países en desarrollo, casi el 70% de los hogares están en el quintil más bajo de la escala económica y en esos mismos países, son más los hogares que tienen un teléfono celular que los que tienen acceso a agua limpia y electricidad (BancoMundial, 2016).

En este contexto, los teléfonos celulares no sólo cumplen con su función básica de facilitar la comunicación, sino que, además, se han convertido en una herramienta de intermediación financiera y la fuente de Internet de banda ancha para millones de personas (Mensah, 2021). Paradójicamente, aunque los servicios de comunicación móvil son claves para el desarrollo económico, presentan el dilema constante entre su apropiación por empresas privadas y su utilización como bien común por parte de las comunidades (Baca-Feldman, Parra Hinojosa, & Huerta Velázquez, 2017).

Es innegable que la cobertura móvil puede producir una serie de beneficios, ya que es la puerta de ingreso a las tecnologías digitales, es decir, a Internet, los teléfonos celulares y a las herramientas de contexto digital (BancoMundial, 2016). Por ejemplo, las tecnologías digitales pueden desempeñar un papel importante en los hogares, en ambos sentidos: 1) como productores, aumentando la productividad y el acceso a los mercados y la financiación y, por lo tanto, estimulando el crecimiento del empleo y los ingresos; y 2) como consumidores, reduciendo los precios, ampliando los conjuntos de opciones y la información, y mejorando prestación de servicios públicos (Rodríguez-Castelán, Lach, Masaki, & Granguillhome Ochoa, 2021).

En Nigeria, por ejemplo, se ha encontrado que la cobertura móvil puede reducir la pobreza y mejorar el bienestar del consumidor; asimismo, el consumo aumentó, presumiblemente como consecuencia de las mejoras en el mercado laboral, principalmente de las mujeres (Bahia, y otros, 2011). Resultados similares fueron observados en Senegal, donde las estimaciones muestran que la cobertura de 3G está vinculada a una expansión del 14% en el consumo total, un aumento del 26% en el consumo no alimentario y una disminución del 10% en la pobreza extrema (Rodríguez-Castelán et al., 2021).

Del mismo modo, se ha encontrado evidencia de que el uso de los teléfonos celulares también puede tener efectos positivos en la producción agrícola. En Vietnam, se ha sugerido que el acceso a Internet está asociado con un aumento del valor de la producción agrícola en un 6-7%, posiblemente relacionada con un uso más eficiente de fertilizantes químicos (Kaila & Tarp, 2019). En Nigeria, (Ogunniyi & Ojebuyi, 2016) concluyeron que los agricultores perciben que el uso de los teléfonos celulares está relacionado con el aumento de sus ingresos, la reducción de los costos de transporte y el aumento de la productividad agrícola. Por otra parte, la aplicación de tecnologías de la información y la comunicación, y mejorar la cobertura móvil, pueden mejorar el acceso a la información, reducir los costos y ganar participación en el mercado (Aker, Ghosh, & Burrell, 2016).

Por otra parte, la cobertura móvil también aporta beneficios en el sector salud. En un estudio realizado en países de África Subsahariana, se encontró que la expansión de la cobertura de telefonía celular redujo significativamente la mortalidad infantil, específicamente en las zonas rurales y para la población más vulnerable; es decir, expandir la cobertura móvil puede ser una forma efectiva de aumentar las probabilidades de supervivencia de los bebés en regiones donde los sistemas de atención médica no están bien desarrollados (Flückiger & Ludwig, 2020). En contraste, en los países más desarrollados, la cobertura móvil se ha presentado como una herramienta eficaz de gestión para aplicaciones de salud pública desde la pandemia de COVID-19. Los datos de movilidad disponibles gratuitamente por tres de las mayores empresas de Internet: Google, Facebook y Baiduse, se han usado para hacer modelos predictivos sobre la pandemia de COVID-19, aunque es probable, que también puedan usarse para otros desafíos de salud pública, como la influenza u otros brotes epidémicos (Ilin, y otros, 2021). Aunque hay indicios, de que se puede estimar la movilidad de las personas sin teléfono celular (Wesolowski, Eagle, Noor, Snow, & Buckee, 2013), no cabe duda de que cuanto mayor sea la cobertura móvil, serán más precisas las estimaciones de movilidad, y por lo tanto, más útiles para la investigación y las intervenciones políticas en materia de salud pública.

Otro efecto generado por la cobertura móvil y que también ha tenido especial importancia durante la pandemia de COVID-19, es la utilización de los datos de la telefonía celular en conjunto con técnicas de aprendizaje automático (en inglés “machine learning”). Por ejemplo, en Uganda, se contactó a las personas que hacían llamadas frecuentes desde comunidades vulnerables y se les ofreció una transferencia de efectivo sin condiciones; esto funcionó porque en muchos países en desarrollo, la compañía telefónica tiene más información actualizada sobre dónde vive la gente que el gobierno nacional (Blumenstock, 2020). Aunque todavía existen algunos retos operativos, la transferencia de ayuda a través del dinero móvil podría aumentar drásticamente la puntualidad y la eficacia de las ayudas humanitarias, mientras que se reduce la necesidad de contacto directo con los empleados del gobierno (Aiken et al., 2021). Los beneficios pueden llegar de manera más rápida a un gran número de personas que, de otro modo, no serían tomados en cuenta por el gobierno porque no tienen un trabajo formal, una tarjeta de identidad oficial o una cuenta bancaria, especialmente en las zonas rurales (Blumenstock, 2020).

En este sentido, en las zonas rurales de México, todavía hay una gran brecha digital. En parte, esto puede explicarse por haber privatizado los servicios de telecomunicaciones en nuestro país; primero, porque se dirigen los esfuerzos a regiones más pobladas y más lucrativas, dejando rezagadas a las pequeñas zonas rurales con pocos habitantes; y segundo, porque, aunque la cobertura móvil llegara a estas pequeñas poblaciones, el servicio sería muy costoso, ya que supondría un porcentaje muy alto del ingreso de los usuarios (Baca-Feldman et al., 2017). En pocas palabras, a más de 20 años de la privatización de los servicios de telecomunicaciones en México por parte del operador predominante Telmex, la premisa del servicio universal está lejos de cumplirse (Casanueva-Reguart & Pita, 2010).

Por otra parte, el uso de Internet es un gran desafío, ya que la población rural posee un nivel educativo bajo y no utiliza las tecnologías de la información y la comunicación (Martínez-Domínguez & Mora-Rivera, 2020). Por ello, es imprescindible mejorar la alfabetización mediática o digital y la situación socioeconómica, para

que las zonas rurales de México puedan beneficiarse del acceso a Internet, y que éste se convierta en un elemento clave para reducir la pobreza (Mora-Rivera & García-Mora, 2021).

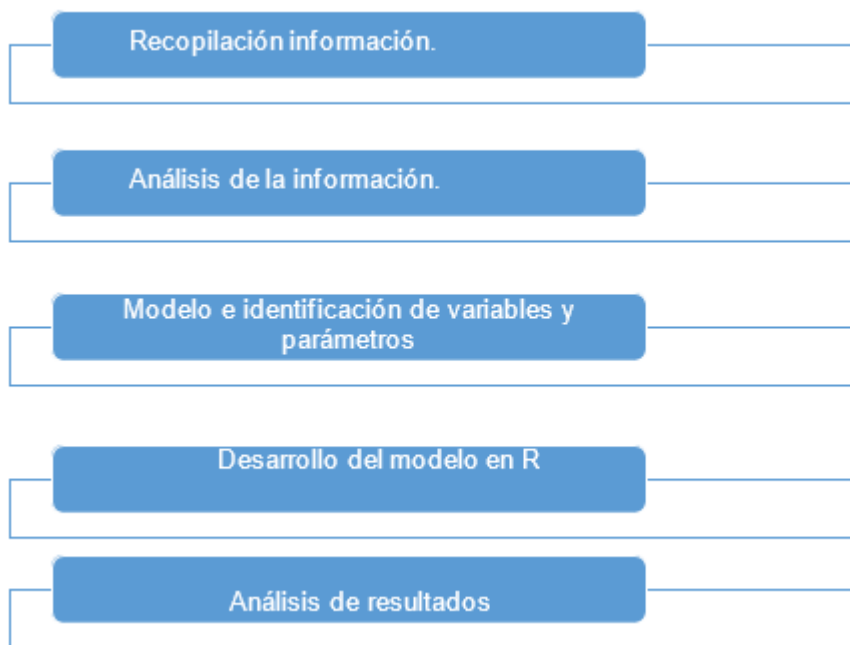
Por lo tanto, reducir la brecha digital requiere: 1) mejorar las condiciones de acceso mediante el desarrollo de una infraestructura adecuada y el otorgar Internet de alta velocidad; 2) disminuir los costos asociados con la conexión a Internet impulsando la competencia; y 3) la enseñanza de la alfabetización digital a las personas de una manera que destaque las ventajas y los beneficios derivados del uso eficiente de Internet (Martínez-Domínguez & Mora-Rivera, 2020).

En síntesis, la cobertura móvil permite a los individuos, buscar, recibir y difundir mensajes a través de cualquier medio de expresión, es decir, el derecho humano a la información (Alcalá-Casillas, 2019). Tener acceso a la información, permite aumentar la productividad, mejorar las oportunidades de trabajo, incrementar el consumo informado, acceder a beneficios sanitarios.

## 6. METODOLOGÍA

La presente investigación es de tipo exploratorias cuantitativa, la metodología fue aplicada en cinco etapas como se visualiza en la Figura (6):

*Figura 6. Etapas de la metodología*



Fuente. Adaptado de HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto., Metodología de la Investigación. 4 ed. México: McGraw Hill, 2006. p. 26 (4)

## 6.1 Etapa 1 Recopilación de información

En la etapa 1 se realizó la búsqueda de información de los siguientes puntos:

- a) Normatividad que rige la gestión de espectro en México, se analizó la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión (LFTR); y Ley de Derechos.
- b) Situación actual de la asignación del espectro radioeléctrico en México la cual considera las bandas de frecuencias IMT de espectro radioeléctrico y la cantidad de MHz utilizados.
- c) Licitaciones de espectro radioeléctrico para bandas IMT desde 1998 al 2020.
- d) Precios que rigen la asignación de espectro radioeléctrico.
- e) Mecanismos de asignación utilizados en las licitaciones públicas en la asignación de espectro radioeléctrico desde 1998 a 2020.
- f) Cobertura en México de voz y datos por estado y localidad.
- g) Bases de datos de población por estado de INEGI 2020 clasificadas por localidad y municipio.
- h) Bases de datos de la SCT de la cobertura clasificada por estado, localidad y municipio
- i) Bases de datos de SCT localidades con cobertura prioritaria
- j) Bandas de frecuencia para 5G.

## **6.2 Etapa 2 Análisis de información**

Para esta etapa se inició con el análisis de la industria de las telecomunicaciones en el país, así como los mecanismos de asignaciones utilizados, los precios del espectro y el análisis de la cobertura.

### **6.2.1 Análisis de mecanismos de asignación**

Para el análisis de mecanismos de asignación establecidos en México se realizó un análisis de las principales características que ofrecen las subastas utilizadas en los procesos de licitación realizados en el país. Para tal efecto se analizaron:

- a) Funcionamiento
- b) Formato
- c) Establecimiento de precios
- d) Información revelada para participantes.
- e) Beneficio social

### **6.2.2 Análisis económico de asignación de espectro radioeléctrico**

En el análisis económico del espectro radioeléctrico en México se realiza un estudio de los precios de espectro cobrados en el proceso de licitación de espectro con el fin de conocer la situación de precios que se regulan en México. De acuerdo a (GSMA, 2019c) algunas políticas gubernamentales hacen que se paguen precios elevados por el acceso al espectro y como resultado de los elevados precios se puede perjudicar a los consumidores, incluyendo niveles de cobertura más bajos y velocidades de datos más lentas. En un estudio en los países desarrollados, los precios elevados del espectro significaron la disminución en el despliegue de cobertura y la calidad de la red 4G. En los países en desarrollo, los elevados costos del espectro atraso el despliegue de 3G y 4G y ocasionó una disminución a largo plazo de la calidad general de la red. En cuanto a los precios al consumo, el aumento de los costos del espectro provocó un aumento de los precios de los consumidores en los países al disminuir la inversión en redes y cobertura. Los precios del espectro también pueden desempeñar un papel importante influir en las decisiones de inversión.

Adicionalmente del costo del espectro, el despliegue de la red 5G conlleva una considerable inversión en equipos de red, ya que el uso de nuevas bandas de frecuencias se necesita desplegar nueva infraestructura. Con el objeto de otorgar cobertura en todo el territorio nacional, el despliegue implica costos elevado (APIEM, 2020). Por tal fin en este paso de la metodología se realiza en análisis de los precios de espectro considerando licitaciones de espectro realizadas en el país.

#### **6.2.2.1 Licitaciones.**

Para el análisis de las licitaciones se lleva a cabo un compendio de los precios de espectro de las licitaciones públicas Licitación 1997-2, Licitación 2005, Licitación 21 Licitación 20, IFT-3, APP-009000896-E1-2016, IFT-7 y los costos de sesión de derechos P/IFT/210819/410 y se consideran las bandas activas que corresponden a 700 MHz, 800 MHz, 850 MHz, 1.9 GHz, 1.7 y 2.1 y 2.5 GHz.

Para realizar el cálculo se realizó lo siguiente:

**Definición de conjuntos y variables:**

$O = \{1,2,3,\dots,N\}$  Es el conjunto de operadores que reciben espectro.

R es el conjunto de regiones  $R = \{1, 2, 3, \dots, 9\}$

B al conjunto de bandas

Y el conjunto de años.

En el primer paso se calcula el promedio total de precios de contraprestación que cada operador pago por la adquisición de espectro radioeléctrico por región, obtenidos del sistema público de concesiones (IFT ,2020f, 2020g) de acuerdo a la Fórmula (2).

$$P_{OB} = \frac{(\sum_{o=1}^n X_o)}{n} \quad (2)$$

Donde:

$P_{OB}$  Es el promedio de contraprestaciones para la región que corresponda.

$X_o$  Es el precio de la contraprestación que se pagó en la licitación.

Posteriormente se realiza la sumatoria de regiones con base a la Fórmula (3)

$$d_{OB} = \sum_{r=1}^9 P_{OB} \quad (3)$$

Donde:

$d_{OB}$  Es la sumatoria de los promedios de las regiones que adquirieron espectro por operador.

Y, por último, obtiene el valor total del precio de licitaciones expresando en la Fórmula (4) (IFT, 2014).

$$Capex_{OB} = d_{ob} * Cm_o \quad (4)$$

Donde:

$Cm_o$  Es la cantidad de MHz adquiridos por operador

### 6.2.3 Análisis de cobertura

Para el análisis de cobertura garantizada y diferenciada de 3G y 4G a Nivel Nacional en el territorio nacional se utilizó el Reporte de Cobertura Móvil en México 2020 (Quién es quién) (IFT, 2020c) que considera información de los mapas de cobertura del servicio móvil que los concesionarios entregan al IFT. La información fue concentrada en el programa Excel considerando las siguientes categorías y fórmulas. Ver Tabla (19).

Tabla 19. Categorías y descripciones de Base de Datos de Cobertura Móvil

Categoría	Descripción	Formulación matemática
Estado	Estados de la República Mexicana	-
Región	Region a la que pertenece el Estado	-
Municipios	Total de municipios del Estado	-
Localidades	Total de localidades del Estado	-
Lscg	Cantidad de localidades sin cobertura garantizada	-
Lccg	Cantidad de localidades con cobertura garantizada	-
Plscg	Porcentaje de localidades sin cobertura garantizada	$Plscg = \frac{Lscg}{Localidades} \quad (8)$
Plccg	Porcentaje de localidades con cobertura garantizada	$Plccg = \frac{Lccg}{Localidades} \quad (9)$
Mscg	Cantidad de municipios sin cobertura garantizada	-
Mccg	Cantidad de municipios con cobertura garantizada	-
Pmscg	Porcentaje de municipios sin cobertura garantizada	-
Pmccg	Porcentaje de municipios con cobertura garantizada	$Pmscg = \frac{Mscg}{Municipios} \quad (10)$
Pmccd	Porcentaje de municipios con cobertura diferenciada	$Pmccd = \frac{Mccd}{Municipios} \quad (11)$
Lscd	Cantidad de localidades sin cobertura diferenciada	-
Lccd	Cantidad de localidades con cobertura diferenciada	-
Plscd	Porcentaje de localidades sin cobertura diferenciada	$Plscd = \frac{Lscd}{Localidades} \quad (12)$
Plccd	Porcentaje de localidades con cobertura diferenciada	$Plccd = \frac{Lccd}{Localidades} \quad (13)$
Mscgd	Cantidad de municipios sin cobertura diferenciada	-
Mccgd	Cantidad de municipios con cobertura diferenciada	-
Pmscgd	Porcentaje de municipios sin cobertura diferenciada	-

$$P_{mscgd} = \frac{M_{scgd}}{Municipios} \quad (14)$$

$P_{mccgd}$  Porcentaje de municipios con cobertura diferenciada

$$P_{mccgd} = \frac{M_{ccgd}}{Municipios} \quad (15)$$

**Fuente:** Elaboración propia

Para el análisis de cobertura por localidad se consideran las siguientes características que se muestran en la Tabla (20).

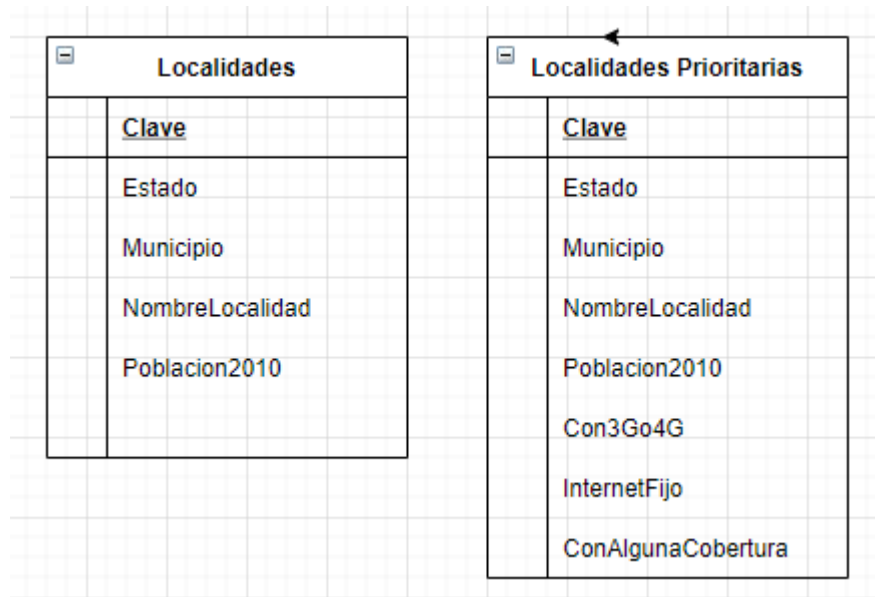
*Tabla 20. Características cobertura*

<b>Tipo de información para analizar cobertura</b>	Cobertura registrada por operadores de telecomunicaciones móviles.
<b>Año de la información</b>	2020
<b>Nivel de desagregación geográfico</b>	Estatales, Municipales y Localidades, así como los datos del “Censo de Población y Vivienda 2020”.
<b>Tipo de tecnología de acceso</b>	2G, 3G y 4G

Para lograr el análisis de los datos de cobertura se llevó a cabo los siguientes pasos:

- a) Recopilación de las bases de datos de localidades con cobertura de la SCT del periodo 2020-2021 (SCT, 2020c) y la base de localidades prioritarias al corte del 2021 (SCT, 2020d). La estructura de las bases de datos se muestra en la Figura (7).

Figura 7. Estructura de Bases de Datos de cobertura



Fuente: Elaboración propia con base en (SCT, 2020d)

- b) Se realizó la obtención de las bases de población al 2020 de INEGI de los 32 estados de la República Mexicana, debido a que las bases de localidades solo contienen información de la población al 2010. En la Tabla (21) se muestra el estado, el nombre de la base de datos y el total de localidades de los 32 estados.

Tabla 21. Bases de datos de población INEGI 2020

Estado	Base de datos	Total de Localidades
Aguascalientes	ITER2020-01 Aguascalientes.xlsx	1989
Baja California	ITER2020-02 Baja California.xlsx	4547
Baja California Sur	ITER2020-03 Baja California Sur.xlsx	2850
Campeche	ITER2020-04 Campeche.xlsx	2778
Coahuila de Zaragoza	ITER2020-05 Coahuila de Zaragoza.xlsx	20047
Colima	ITER2020-06 Colima.xlsx	12257
Chiapas	ITER2020-07 Chiapas.xlsx	3825
Chihuahua	ITER2020-08 Chihuahua.xlsx	1235
Distrito Federal	ITER2020-09 Distrito Federal.xlsx	547
Durango	ITER2020-10 Durango.xlsx	5794
Guanajuato	ITER2020-11 Guanajuato.xlsx	8995
Guerrero	ITER2020-12 Guerrero.xlsx	7290
Hidalgo	ITER2020-13 Hidalgo.xlsx	4714
Jalisco	ITER2020-14 Jalisco.xlsx	10946
Mexico	ITER2020-15 Mexico.xlsx	4846
Michoacán de Ocampo	ITER2020-16 Michoacán de Ocampo.xlsx	9427
Morelos	ITER2020-17 Morelos.xlsx	1504
Nayarit	ITER2020-18 Nayarit.xlsx	2700
Nuevo León	ITER2020-19 Nuevo Leon.xlsx	5265
Oaxaca	ITER2020-20 Oaxaca.xlsx	10496
Puebla	ITER2020-21 Puebla.xlsx	6400
Querétaro	ITER2020-22 Queretaro.xlsx	2717
Quintana Roo	ITER2020-23 Quintana Roo.xlsx	1993
San Luis Potosí	ITER2020-24 San Luis Potosi.xlsx	6829
Sinaloa	ITER2020-35 Sinaloa.xlsx	5845
Sonora	ITER2020-26 Sonora.xlsx	7268
Tabasco	ITER2020-27 Tabasco.xlsx	2499
Tamaulipas	ITER2020-28 Tamaulipas.xlsx	7344
Tlaxcala	ITER2020-29 Tlaxcala.xlsx	1294
Veracruz de Ignacio de la Llave	ITER2020-30 Veracruz de Ignacio de la Llave.xlsx	20828
Yucatán	ITER2020-31 Yucatan.xlsx	2506
Zacatecas	ITER2020-32 Zacatecas.xlsx	4672

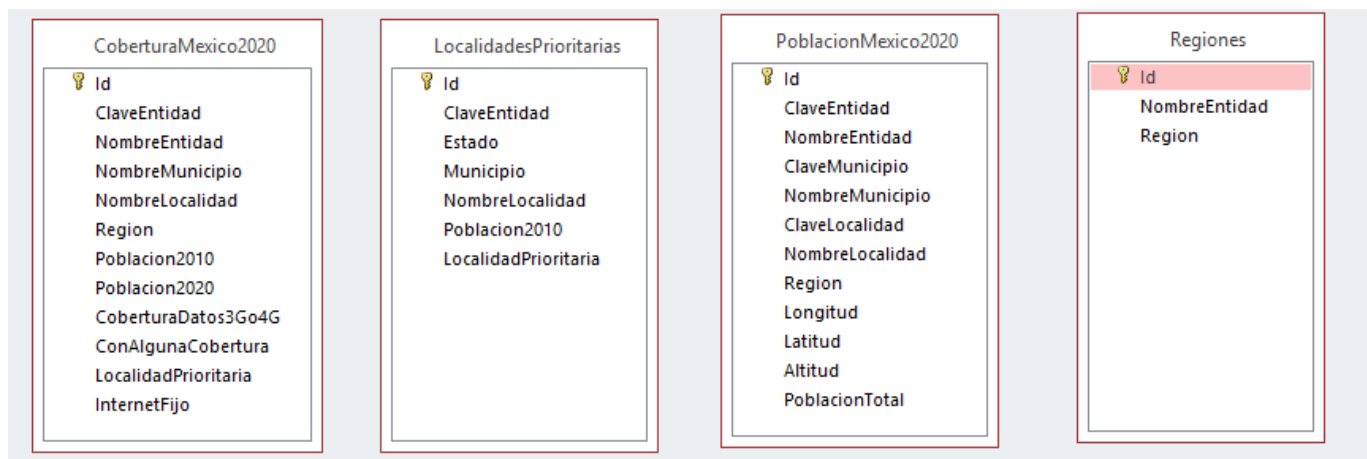
Fuente: Elaboración propia con base

c) Generación de Bases de Datos BDCobertura.accdb que concentre la información de la cobertura a nivel nacional, localidades prioritarias y población actualizada al 2020. Para este paso se utilizó el programa computacional Microsoft Access 2013 y se realizó la creación de las siguientes tablas.

- CoberturaMexico2020: Tabla para concentrar cobertura a nivel nacional, localidades prioritarias y población actualizada al 2020.
- LocalidadesPrioritarias: Tabla de localidades prioritarias.
- PoblacionMexico2020: Tabla que contiene la información de las bases del paso b.
- Regiones: Tabla de regiones de telecomunicaciones en México.

En la Figura (8) se muestra el diagrama de cada una de las tablas generadas.

Figura 8. Diagrama de Tablas para cobertura



Fuente: Elaboración propia

d) Actualización de tabla CoberturaMexico2020

1) Actualización de tabla *CoberturaMexico2020* con la información de la Tabla de *LocalidadesPrioritarias* considerando como llave el campo ClaveEntidad (Query 1).

```
UPDATE CoberturaMexico2020 INNER JOIN LocalidadesPrioritarias
ON CoberturaMexico2020.ClaveEntidad = LocalidadesPrioritarias.ClaveEntidad
SET CoberturaMexico2020.LocalidadPrioritaria = [LocalidadesPrioritarias]![LocalidadPrioritaria];
```

2) Actualización de tabla *CoberturaMexico2020* con la información de la Tabla de *PoblacionMexico2020* considerando como llave los campos NombreEntidad, NombreMunicipio, NombreLocalidad (Query 2)

**UPDATE** CoberturaMexico2020 **INNER JOIN** PoblacionMexico2020  
**ON** (CoberturaMexico2020.NombreEntidad = PoblacionMexico2020.NombreEntidad) **AND**  
(CoberturaMexico2020.NombreMunicipio = PoblacionMexico2020.NombreMunicipio) **AND**  
(CoberturaMexico2020.NombreLocalidad = PoblacionMexico2020.NombreLocalidad)  
**SET** CoberturaMexico2020.Poblacion2020 = [PoblacionMexico2020].[PoblacionTotal];

- 3) Actualización de tabla CoberturaMexico2020 con la información de la Tabla de *Regiones* utilizando como campo llave el NombreEntidad (Query 3)

**UPDATE** CoberturaMexico2020 **INNER JOIN** Regiones  
**ON** CoberturaMexico2020.NombreEntidad = Regiones.NombreEntidad  
**SET** CoberturaMexico2020.Region = [Regiones].[Region];

- 4) Finalmente se realizó la conversión de la Tabla *CoberturaMexico2020* a formato Excel para su uso en el análisis de datos.

### 6.3 Etapa 3 Modelo seleccionado

De todos los mecanismos de asignación existe una predisposición a licitar el espectro radioeléctrico utilizando mecanismos de subastas de múltiple objeto. De hecho, tal como indica el IFT, los mecanismos de Reloj combinatorio (CCA) y SMRA son mecanismos que asignan el espectro, pero que contribuyen poco al bienestar de la sociedad (IFT, 2018b), así mismo, se observa que los precios de espectro en México son elevados con respecto a la media internacional y las subastas de espectro pueden permitir la colisión de participantes. Por lo tanto, se contempla el uso de la subasta de aceptación diferida considerando el despliegue de cobertura, así como se señala en la sección 2.2 del Capítulo II del presente trabajo de investigación, donde se mencionan las características de la subasta de aceptación diferida.

#### 6.3.1 Identificación de variables y parámetros.

En la Tabla (22) se muestran los elementos que se utilizan como información para la entrada del modelo.

Tabla 22. Conjuntos

Variable	Descripción
$R$	Regiones de telecomunicaciones en México $r= \{1, 2, 3, \dots, 9\}$
$N$	Licitadores $\{1, 2, \dots, n\}$
$L_{tt}$	Localidades totales de cobertura $\{1, 2, \dots, 192,247\}$
$L_{pt}$	Localidades prioritarias $\{1, 2, \dots, 10,326\}$
$L_{tr}$	Es la cantidad total de localidades elegibles del tipo $r$ .  $R=1$ corresponde a 7397 localidades $R=2$ corresponde a 13113 localidades $R=3$ corresponde a 18051 localidades $R=4$ corresponde a 16434 localidades $R=5$ corresponde a 24308 localidades $R=6$ corresponde a 25202 localidades $R=7$ corresponde a 46308 localidades $R=8$ corresponde a 29823 localidades $R=9$ corresponde a 11611 localidades  Valores que se mantendrán fijos a lo largo de toda la subasta.
$L_{pr}$	Es la cantidad total de localidades prioritarias elegibles del tipo $R$ . $R=1$ corresponde a 23 localidades $R=2$ corresponde a 137 localidades $R=3$ corresponde a 366 localidades $R=4$ corresponde a 121 localidades $R=5$ corresponde a 359 localidades $R=6$ corresponde a 1104 localidades $R=7$ corresponde a 5095 localidades $R=8$ corresponde a 2708 localidades $R=9$ corresponde a 413 localidades

	Valores que se mantendrán constantes en toda la subasta.
<i>H</i>	Periodos de tiempo en años, $t = \{1, 2, \dots, T\}$
<i>A</i>	Licitadores activos

En la Tabla (23) se muestran los parámetros que se utilizan del licitante.

Tabla 23. Parámetros del licitante

Parámetro	Descripción
<i>Bf</i>	Banda de frecuencia a subastar
<i>Be</i>	Bloque o bloques de espectro a subastar.
<i>Pmin</i>	Precio mínimo de apertura propuestos por el licitador
<i>Pmax</i>	Precio máximo de apertura propuestos por el licitador
<i>x%</i>	6,48 % es la rentabilidad anual mínima estimada por la metodología del WACC para servicios móviles de acuerdo a (IFT, 2021c).

En la Tabla (24) se muestran los parámetros del licitador.

Tabla 24. Parámetros del licitador

Parámetro	Descripción
<i>Pip</i>	Precio inicial
<i>Cep</i>	Bloque o bloques seleccionados
<i>Lcp</i>	Localidades seleccionadas para cobertura
<i>Lpp</i>	Localidades prioritarias seleccionadas para cobertura
<i>Pap</i>	Periodo máximo en años para desplegar el servicio móvil en las localidades propuestas.

### Parámetros de la subasta

*Rmax*=Rondas máximas

En la Tabla (25) se muestra la información de salida del modelo.

*Tabla 25. Conjuntos de salida*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<i>G</i>	<i>Ganadores {1, 2, ..., n}</i>

En la Tabla (26) se muestran los parámetros de resultado

*Tabla 26. Parámetros de resultado*

<b>Parámetro</b>	<b>Descripción</b>
<i>Rt</i>	<i>Rondas totales</i>
<i>Pjp</i>	<i>Puntaje por participante</i>
<i>Pfp</i>	<i>Precios finales</i>

### 6.3.2 Modelo matemático

El modelo presentado en este apartado, corresponde a la versión general del modelo matemático de la subasta de aceptación diferida propuesta por (Milgrom & Segal, 2020), pero considerando como variable adicional el análisis de cobertura en México y el cálculo de puntaje en términos de cobertura de acuerdo a la Fórmula (19). En este modelo se consideran los supuestos siguientes: la simulación de la subasta considera que los participantes ya cumplieron las condiciones iniciales del regulador y están listos para participar en la subasta.

La oferta inicial se realiza con base a los precios de apertura establecidos por el regulador. Los precios utilizados para la simulación de cada banda de frecuencia fueron obtenidos de la OECD (Organization for Economic Cooperation and Development por sus siglas en inglés), considerando un rango de precios de 10 a 100 millones de dólares de subastas realizadas en América Latina. Para establecer los precios ofertados de los participantes se considera que los participantes poseen diferentes niveles de producción (2, 3, 4) siendo 2 el mayor nivel de producción y 4 el menor nivel de producción como se visualiza en la Tabla (27).

Tabla 27.-Niveles de producción

Nivel de producción	Descripción
2	+ Productiva
3	- Productiva
4	--Productiva

Por lo tanto, informalmente, una subasta con reloj de aceptación diferida (DA) es un mecanismo dinámico que, en una secuencia de rondas, presenta una secuencia no creciente de precios a cada postor. Cada licitador cuyo precio se reduce en una ronda puede optar por salir o continuar de acuerdo a la aversión al riesgo de cada participante.

Donde se considera averso al riesgo cuando

$$Risk = \log(x) \quad (16)$$

Neutral

$$Risk = 3(x) \quad (17)$$

Amante al riesgo

$$Risk = x^2 \quad (18)$$

Así los licitadores que no han salido se denominan "activos" y los que optan por continuar cuando sus precios se reducen se dice que "aceptan" el precio más bajo. Cuando la subasta finaliza, los licitadores activos restantes se convierten en los ganadores y se les paga su último precio (el más bajo) aceptado.

Para tal fin se considera en el mecanismo  $N$  licitadores, en los que cada licitador puede ganar lo que significa que su oferta para suministrar un determinado bien o conjunto de bienes es aceptada o perder lo que significa que su oferta es rechazada.

El conjunto de licitadores activos en el periodo  $t$  se denota por  $A_t \subseteq N$  y sea  $H$  el conjunto de todos los tiempos posibles  $t \geq 1$ . La subasta se lleva a cabo en periodos de tiempo discretos, indexados por  $t = \{1, 2, \dots, T\}$ . Un historial del periodo  $t$  consiste en los conjuntos de oferentes activos en todos los periodos hasta el periodo  $t$ :  $A^t = (A_1, \dots, A_t)$  tal que  $A_t \subseteq \dots \subseteq A_1$ . Asimismo, las preferencias de cada licitador dependen de si gana o pierde. Suponemos que estas preferencias son estrictamente crecientes en la selección de las localidades para cobertura, la selección de localidades prioritarias por región y la cantidad de años para lograr el despliegue. Por lo tanto, las localidades para cobertura se definen como  $Lcp_r$  como el total de localidades del tipo  $r$  que elige el participante en el período  $t$ . Mientras que las localidades prioritarias se definen como  $Lpp_r$  como el total de localidades prioritarias del tipo  $r$  que selecciona el participante en el período  $t$ . Las localidades y el tiempo de despliegue son seleccionadas por los participantes de forma autónoma. Por lo tanto,  $v_i = Lcp_r + Lpp_r$  donde  $v_i \in \mathbb{R}^+$ .

Por lo tanto, una subasta DA descendente se describe mediante un mapeo de precios  $p: H \rightarrow \mathbb{R}^N$  de tal forma que  $p(A_t) \leq p(A_{t-1}) \forall t \geq 2$  y todos  $A_t$  y se limita a un número limitado de periodos  $\{p(A_t)\}_{h \in H}$ . La subasta DA permite un juego entre los participantes registrados de la siguiente manera: Los licitadores que se inscriben en la subasta constituyen el conjunto inicialmente activo:  $A_1 = N$ . Estos licitadores se comprometen a aceptar los precios de apertura, que son  $p(N)$ . En cada periodo  $t \geq 1$ , dado el historial  $A^t$ , la subasta permite la selección de las localidades para cobertura por región  $LC_j(A^t)$  y localidades prioritarias por región  $LP_j(A^t)$ , así como el tiempo de despliegue en el tiempo  $t$  y la cantidad de años para lograr el despliegue  $Pap$ . Si  $t \geq 2$  y  $p_i(A^t) < p_i(A^{t-1})$ , entonces  $i$  puede salir o aceptar el nuevo precio.

Por lo tanto,  $E_t \subseteq A_t$  denota el conjunto de licitadores que salen, la subasta continúa en el periodo  $t+1$  con el nuevo conjunto de licitadores activos  $A_{t+1} = A_t \setminus E_t$  y el nuevo historial  $A^{t+1} = (A^t; A_{t+1})$  y se calcula el puntaje en términos de cobertura con la Fórmula (19).

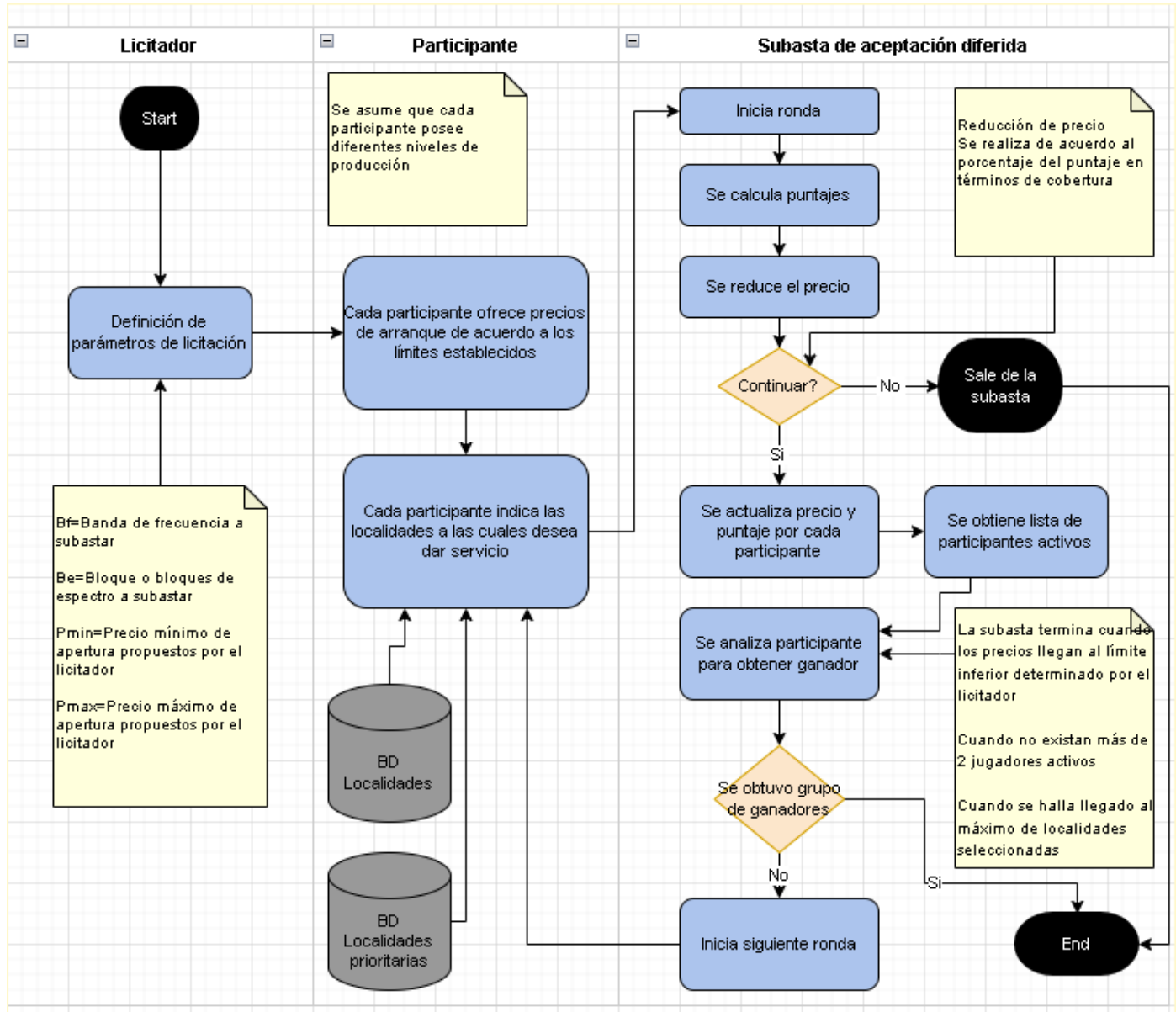
$$Puntaje = \sum_{i=1}^{20} \sum_{j=1}^9 R_j * \frac{Localidades_j}{Localidades_{ijTotal}} * \frac{1}{(1+X\%)^{t-1}} + LocalidadesPrioritarias \quad (19)$$

Por lo tanto, si  $t \geq 2$  y  $p(A^t) = p(A^{t-1})$ , la subasta se detiene; el licitador  $i$  es entonces ganador si y sólo si  $i \in A_t$  y puntaje es el máximo.

### 6.3.3 Diagrama de modelo utilizando la subasta de aceptación diferida

En el diagrama 6.3.3 en la Figura (9) se muestra el proceso y lógica de simulación que permitió entender y analizar el comportamiento del algoritmo.

Figura 9. Subasta de aceptación diferida



Fuente: Elaboración propia

## **6.5 Desarrollo de modelo en R**

En la presente sección se realiza la implementación del modelo. Esta implementación se realizó utilizando como lenguaje de programación R y como compilador el software RStudio Versión 1.2.1335, se ejecutó en una computadora Dell con procesador 2.90 GHz Intel Core i5 y memoria de 8 GB.

## 7. RESULTADOS

En este capítulo se incluyen los resultados obtenidos de acuerdo a los objetivos planteados. Es así que los resultados se dividirán en el contexto en el que se desarrollará la asignación de espectro, los mecanismos de asignación utilizados en México, el análisis de la cobertura en México y los escenarios posibles para la asignación de espectro radioeléctrico.

### 7.1 Contexto en el que se desarrolla la asignación de espectro en México.

#### 7.1.1 Método y elementos actuales para la asignación de espectro radioeléctrico

Con respecto al análisis que se realizó sobre cómo se ha llevado a cabo la asignación de espectro radioeléctrico para las bandas IMT (700 MHz, 800 MHz, 850 MHz, 1.9 GHz, 1.7 y 2.1 GHz, 2.5 GHz) utilizadas actualmente para los servicios de 2G, 3G y 4G, se ha usado el método de recuperación de costos el cual consiste en la fijación de precios considerando un pago por la adquisición del espectro utilizando licitación pública y un pago anual de derechos de uso (IFT, 2020e).

Para la asignación de licencias de espectro radioeléctrico los elementos que se han considerado son:

- Cantidad de espectro
- Banda de frecuencia
- Vigencia de la concesión
- Referencias del valor de mercado de la banda de frecuencia considerando el valor nacional e internacional.

#### 7.1.2 Espectro radioeléctrico asignado en México para 2G, 3G, 4G y 5G

Actualmente México tiene un total de 508.16 MHz de espectro radioeléctrico para servicios móviles, dividido en 6 bandas de frecuencia como se puede visualizar en la Tabla (28), los cuales proveen los servicios de banda ancha móvil y servicio de telefonía móvil para 2G, 3G y 4G (IFT, 2020e).

Tabla 28. Asignación de espectro asignado actual para servicios móviles para servicios 2G, 3G, 4G

País/Banda	600 MHz	700 MHz	800 MHz	850 MHz	1.9 GHz	1.7 y 2.1GHz	2.5 GHz	Total
México	0	90	3.2	42.95	110.96	130	131.5	508.16

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2020a), (IFT, 2020b), IFT (2020c)

Por lo que se refiere a la asignación de 5G no se ha realizado ninguna subasta para asignar el espectro para redes 5G, pero el día 9 de febrero de 2022 el IFT aprobó modificar 18 títulos de concesión para que la

operadora Telcel pueda explotar la banda de frecuencia que opera en el segmento 3450-3550 MHz para servicio móvil un total de 100 MHz ver Tabla (29) (IFT, 2022b).

*Tabla 29. Asignación de espectro para 5G*

<b>País/Banda</b>	<b>3.4-3.5</b>	<b>Total</b>
México	100	100

## 7.2 Mecanismos de asignación de espectro radioeléctrico empleados en México.

Los resultados del análisis de mecanismos de asignación muestran principalmente que las subastas utilizadas en México como son la subasta simultánea ascendente y subasta combinatoria de reloj permiten aún colusión, especulación entre los participantes y que pueden beneficiar al operador preponderante como se muestra en la Tabla (30).

*Tabla 30. Resultados del análisis de mecanismos de asignación*

<b>Características</b>	<b>Subasta simultanea ascendente</b>	<b>Subasta Combinatoria de reloj</b>
Funcionamiento	Los lotes se subastan simultáneamente con precios ascendentes hasta que no se presenten más ofertas.	Cada bloque de espectro dispone de una fase de reloj ascendente inicial, la cual sigue hasta retirar el exceso de demanda.
Formato	Formato relativamente simple	Formato flexible que permite limitar la cantidad de espectro por operador.
Precios	Los precios por licencias no resultan discriminatorios.  No se establecen precios límites.	El precio se fija con base al monto de la oferta posterior más baja.  No se establecen precios límites.
Información revelada	La asignación de espectro se logra por la información mostrada durante la subasta y la oportunidad de que los participantes sean capaces de ofrecer más que sus rivales.	Menos información revelada específicamente en los precios.
Colusión	Los oferentes se pueden poner de acuerdo.	Permite especulación, permitiendo a los participantes aumentar los costos.
Otras características	Al revelar la información en el proceso de subasta, la maldición del ganador se reduce y los licitadores pueden pujar más fuerte.	En esta subasta se beneficia al preponderante debido a que el costo de oportunidad siempre será mayor en comparación con otros operadores.

**Fuente:** Elaboración propia (APIEM, 2020), (IFT, 2020h)

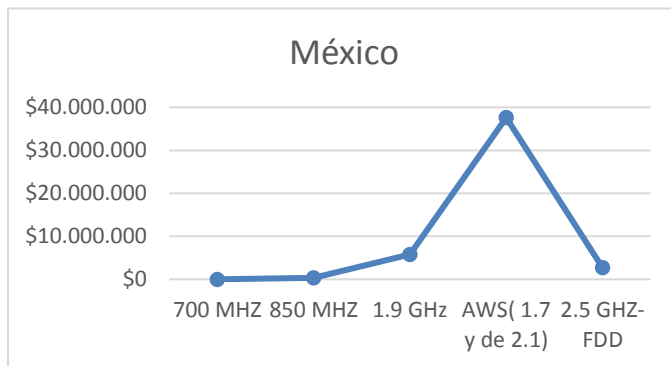
En este análisis también se encontró que las licitaciones realizadas en México principalmente para la banda de banda AWS (1.7 y de 2.1) se ha asignado con costos altos como se muestra en la Tabla (31) y Figura (10), en este sentido la literatura refiere que los precios altos generan que se desincentive la participación de nuevos procesos de licitación y se fomente la devolución de espectro radioeléctrico (IFT, 2020e).

Tabla 31. Precio por MHz.

Banda	Precio
700 MHz	\$0
850 MHz	\$327.426
1.9 GHz	\$5.750.943
AWS (1.7 y de 2.1)	\$37.602.963
2.5 GHz-FDD	\$2.696.702

Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Precio por MHz



### 7.3 Cobertura en México

Con respecto a los resultados del análisis de cobertura, se encontró que actualmente a nivel nacional y al corte del 2021 se tienen identificados por el INEGI 192,247 localidades de las cuales 118,118 tienen cobertura garantizada de 2G, 3G, 4G en voz y SMS y 74,129 no tienen cobertura garantizada, lo que representa el 61.4% y 38.6% respectivamente. En la clasificación de municipios se tienen identificados 2457 de los cuales 2223 tienen cobertura garantizada y 234 no tienen, estos representan el 90.5% y 9.5% (IFT, 2020c), como se puede apreciar en las Tablas (32).

Tabla 32. Cobertura garantizada y diferenciada en México

Cobertura	Localidades con cobertura	Localidades sin cobertura	Municipios con cobertura	Municipios sin cobertura
Garantizada	118,118	74,129	2223	234

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2020c)

En términos de porcentajes la cobertura garantizada que se tiene para bandas 2G, 3G, 4G se observa en la Tabla (33).

Tabla 33. Porcentaje de cobertura garantizada y diferenciada en México

Cobertura	Localidades con cobertura	Localidades sin cobertura	Municipios con cobertura	Municipios sin cobertura
Garantizada	61.4%	38.6 %	90.5%	9.5%

Fuente: Elaboración propia con base en (IFT, 2020c)

Así mismo, la cantidad de cobertura poblacional es de 112, 336,538 habitantes mientras que la cobertura territorial total es de 1, 967,183 Km<sup>2</sup> (IFT, 2020c)

## 7.4 Aplicación de modelo de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro

Considerando el modelo de subasta de aceptación diferida con cobertura, se ha tomado en cuenta las condiciones particulares del país y el mercado de telecomunicaciones móviles. Por lo tanto, se consideran reglas que promuevan y garanticen las condiciones de libre competencia, como obligaciones de cobertura en zonas geográficas desatendidas, pero con mayores densidades poblacionales. Por lo tanto, para la asignación de espectro de bandas 5G, se realizaron una serie de simulaciones de las bandas 600 MHz, 1.4 GHz, 3.3-3.45 GHz. En la simulación se considera la asignación de espectro de las bandas de frecuencia de manera excluyente considerando las siguientes características.

- Se consideran de 2 a 10 participantes.
- Se realiza la simulación por región.
- Se considera la selección de localidades de acuerdo al porcentaje de cobertura por rango de población.
- Para la Banda de 600 MHz se consideran bloques de 5 MHz.
- Para la banda de 1.4 GHz se consideran bloques de 5 MHz.
- Banda de 3.3-3.45 GHz se consideran bloques de 25 MHz.

Como resultado de las simulaciones en el proceso de asignación de espectro se reflejan los siguientes:

### a) Participantes

En este sentido con la subasta de aceptación diferida se observa que independientemente del nivel de producción del participante este puede seleccionar las localidades para cobertura a las cuales quiere ofrecer servicio, por lo que su nivel de producción no es una limitante para obtener el espectro. En el análisis realizado se observa que aún con diferentes niveles de producción entre los participantes pueden obtener espectro radioeléctrico y los ganadores son aquellos que son amantes al riesgo y que seleccionan la mayor cantidad de localidades con la mayor cantidad de localidades prioritarias y con la mínima cantidad de años para cumplir con la cobertura comprometida, ver Tabla (34).

Tabla 34.-Combinaciones para la asignación de espectro radioeléctrico

Participante	Nivel de producción	Averso al riesgo	Localidades	Localidades Prioritarias	Años	Ganador
1	+2	1	Máximo	Máximo	2	
2	+2	2	Máximo	Máximo	2	
3	+2	3	Máximo	Máximo	2	X
1	-3	1	Máximo	Máximo	2	
2	-3	2	Máximo	Máximo	2	
3	-3	3	Máximo	Máximo	2	X
1	--4	1	Máximo	Máximo	2	
2	--4	2	Máximo	Máximo	2	
3	--4	3	Máximo	Máximo	2	X
1	+2	1	Máximo	Máximo	2	
2	-3	2	Máximo	Máximo	2	
3	-4	3	Máximo	Máximo	2	X
1	+2	3	Máximo	Máximo	2	X
2	-3	2	Máximo	Máximo	2	
3	-4	1	Máximo	Máximo	2	
1	+2	3	Máximo	Máximo	2	X
2	+2	3	Máximo	Máximo	5	
3	+2	3	Máximo	Máximo	10	
1	+2	3	Máximo	Máximo	10	
2	-3	3	Máximo	Máximo	5	X
3	+4	3	Máximo	Máximo	10	

Nota: 1) Averso al riesgo 2) Neutral al riesgo 3) Amante al riesgo  
 2)+ Productiva 3)- Productiva 4)--Productiva

**b) Coalición**

Por otra parte, se concluye que los participantes en la subasta de aceptación diferida pueden tomar sus propias decisiones en el proceso de la subasta, las cuales no interfieren en las decisiones de los demás participantes y por lo tanto no se permite que se tengan incentivos para hacer un cambio individual de estrategia. Esto implica que con la SAD los participantes no pueden beneficiarse por la desviación de una coalición.

### c) Privacidad

En la subasta sólo se revela la información mínima de los participantes y permite eliminar la preocupación de los ganadores por el mal uso de la información revelada, así como fomentar la participación de los licitadores.

### d) Reducción de precios

En el análisis realizado en la asignación de espectro actual en México se encontró que las subastas utilizadas priorizan el incremento de los precios para la asignación de espectro radioeléctrico, en el análisis de la simulación de la SAD la reducción de precios se transforma en una estrategia dominante y por lo tanto, la puja veraz es óptima debido que el precio nunca puede ser aumentado incluso si el licitador no entiende la regla de reducción de precios del subastador.

Con la reducción de precios lo que un postor necesita saber es que su precio de reloj nunca puede ser incrementado, y que puede salir en cualquier momento. Por lo tanto con la SAD la disminución de precios converge a una asignación más estable y también eficiente (Milgrom & Segal, 2020).

### e) Cobertura

La simulación generada para la asignación de espectro para 5G fue enfocada en la ampliación de cobertura. En los resultados se encontró que para lograr la mayor cobertura los participantes de la subasta deben considerar las localidades que concentren mayor población y localidades prioritarias, se observa que las localidades mayormente pobladas representan sólo el **53.52%** a nivel nacional lo que representa 157 localidades mientras que las menos pobladas representan el 46,48% con 192,090. Ver Tabla (35) y Figura (11, 12,13).

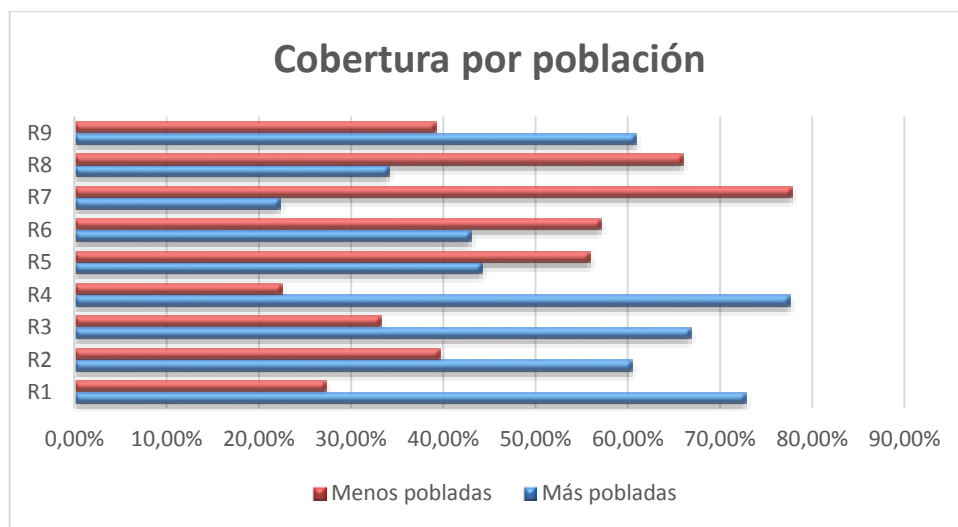
Tabla 35. Cobertura por población y región

Localidades	Porcentaje localidades >Población	Porcentaje localidades <Población	Localidades >Población	Localidades <Población	Localidades Prioritarias >Población	Localidades Prioritarias <Población
R1	<u>72,74%</u>	27,26%	6	7391	0	23
R2	<u>60,39%</u>	39,61%	14	13099	0	137
R3	<u>66,81%</u>	33,19%	8	18043	0	366
R4	<u>77,58%</u>	22,42%	28	16406	0	121
R5	44,11%	55,89%	18	24290	0	359
R6	42,93%	57,07%	14	25188	0	1104
R7	22,24%	77,76%	18	46290	0	5095
R8	34,06%	65,94%	14	29809	0	2708
R9	<u>60,83%</u>	39,17%	37	11574	0	413
	<b>53,52%</b>	<b>46,48%</b>	<b>157</b>	<b>192,090</b>	<b>0</b>	<b>10,326</b>

Fuente: Elaboración propia con base en (SCT, 2020c), (SCT, 2020d)

En la Figura (11) se observa que los operadores que participan para la obtención de espectro de las regiones R4, R1, R3, R9 y R2 concentran la mayor población en localidades importantes con 28, 6, 8, 37 y 34 respectivamente. Mientras que para R5 y R6 se observa una similitud entre las localidades importantes más pobladas y las localidades menos pobladas y por último, R7 y R8 tienen la mayor cantidad de localidades menos pobladas. Por lo tanto, para lograr la mayor cobertura los participantes en la asignación de espectro deben considerar la distribución de población en cada región.

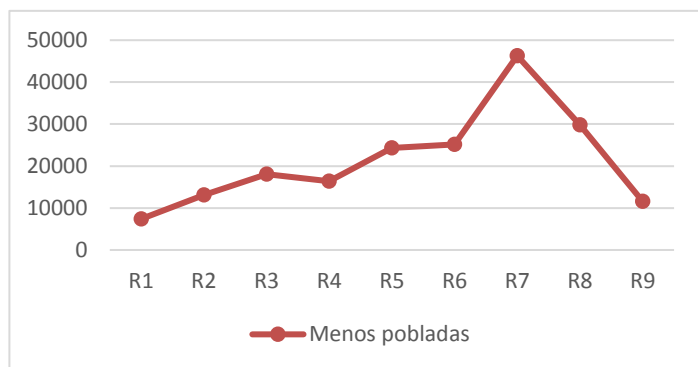
Figura 11. Cobertura por población y región



Fuente: Elaboración propia

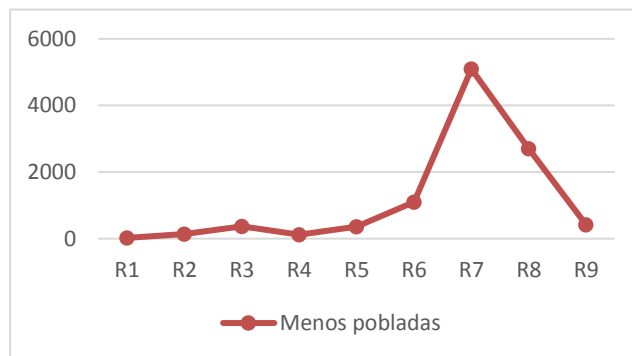
Considerando que las regiones 7 y 8 tienen la mayor cantidad de localidades menos pobladas, también se observa que son las regiones con mayor cantidad de localidades prioritarias que deben considerarse para lograr mayor cobertura, tal como se muestran en las Figura (12) y Figura (13).

Figura 12. Localidades con menor población sin cobertura



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Localidades prioritarias con menor población



f) **Escenarios de Asignación de espectro con subasta de aceptación diferida con cobertura**

Para la asignación de espectro se presentan los resultados por región de acuerdo a los escenarios planteados.

**Escenario 1:** En este primer escenario se considera que los participantes seleccionan el 100% de localidades independiente de la banda de frecuencia a utilizar, por lo tanto, los participantes de cada región tendrían que seleccionar las localidades con mayor y menor población, así como las localidades prioritarias, como se muestra en la Tabla (36).

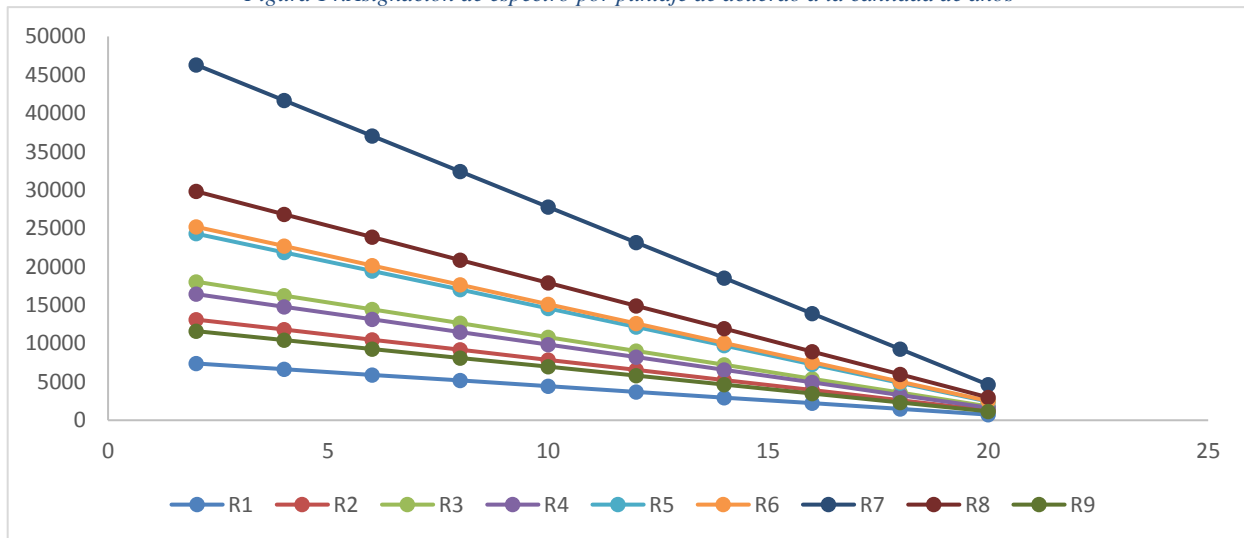
Tabla 36.-Escenario para 100% de cobertura

Región	Localidades con mayor población	Localidades con menor población	Localidades prioritarias
1	6	7394	23
2	14	13099	137
3	8	18043	366
4	28	16406	121
5	18	24290	359
6	14	25188	1104
7	18	46290	5095
8	14	29809	2708
9	37	11574	413

Fuente: Elaboración propia.

En la simulación se obtuvo que la única forma para obtener el espectro radioeléctrico es considerando la cantidad de años que se utilizarán para lograr esta cobertura, por lo tanto, los operadores ganadores serán aquellos que realicen el despliegue en la menor cantidad de años y obtengan el mayor puntaje con respecto a las localidades con mayor población seleccionada y con mayor número de localidades prioritarias. Ver Figura (14).

Figura 14. Asignación de espectro por puntaje de acuerdo a la cantidad de años



Fuente: Elaboración propia considerando puntaje por región y años para lograr el despliegue

## Escenario 2:

La simulación se realiza con dos a diez participantes para lo cual los participantes seleccionan las localidades con mayor población. En los resultados de la simulación los operadores ganadores serán aquellos que obtengan el mayor porcentaje de cobertura y el despliegue en la menor cantidad de años. En este escenario no existen localidades prioritarias consideradas.

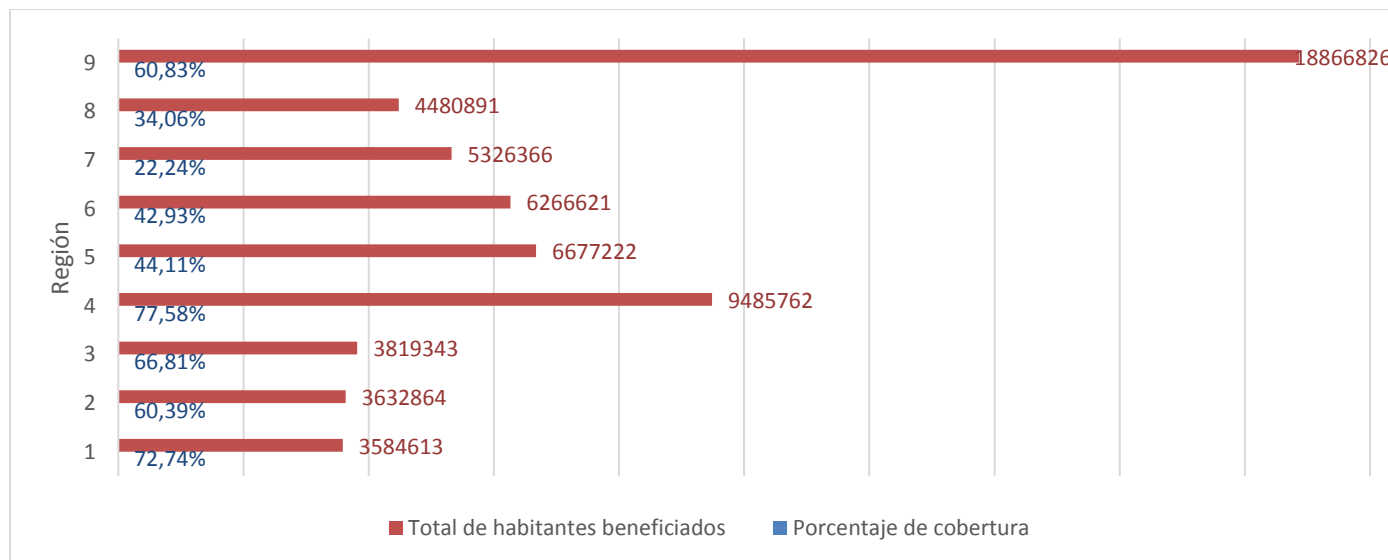
Se observa de manera general que las regiones que lograrían mayor porcentaje de cobertura seleccionando las localidades con mayor población es la región 4 con un 77.58%, región 1 con un 71.74%, región 3 con un 66.81%, región 9 con un 60.83% y región 2 con un 60.39%. Ahora bien, las regiones con menores porcentaje de cobertura serían región 5 con un 44.11 %, región 3 con un 42.93% y región 8 con un 34,06 % y por último la menos beneficiada sería región 7 con un 22.24%. Ver Tabla (37) y Figura (15).

Tabla 37. Porcentaje de cobertura con mayor población

Región	Localidades	Porcentaje de cobertura	Total de beneficiados
1	6	72.74%	3,584,613
2	14	60,39%	3,632,864
3	8	66,81%	3,819,343
4	28	77,58%	9,485,762
5	18	44,11%	6,677,222
6	14	42,93%	6,266,621
7	18	22,24%	5,326,366
8	14	34,06%	4,480,891
9	37	60,83%	18,866,826

**Fuente:** Elaboración propia. Nota: El detalle puede ser consultado en el ANEXO D) Asignación de espectro por cobertura.

Figura 15. Porcentaje de cobertura con mayor población



### Escenario 3:

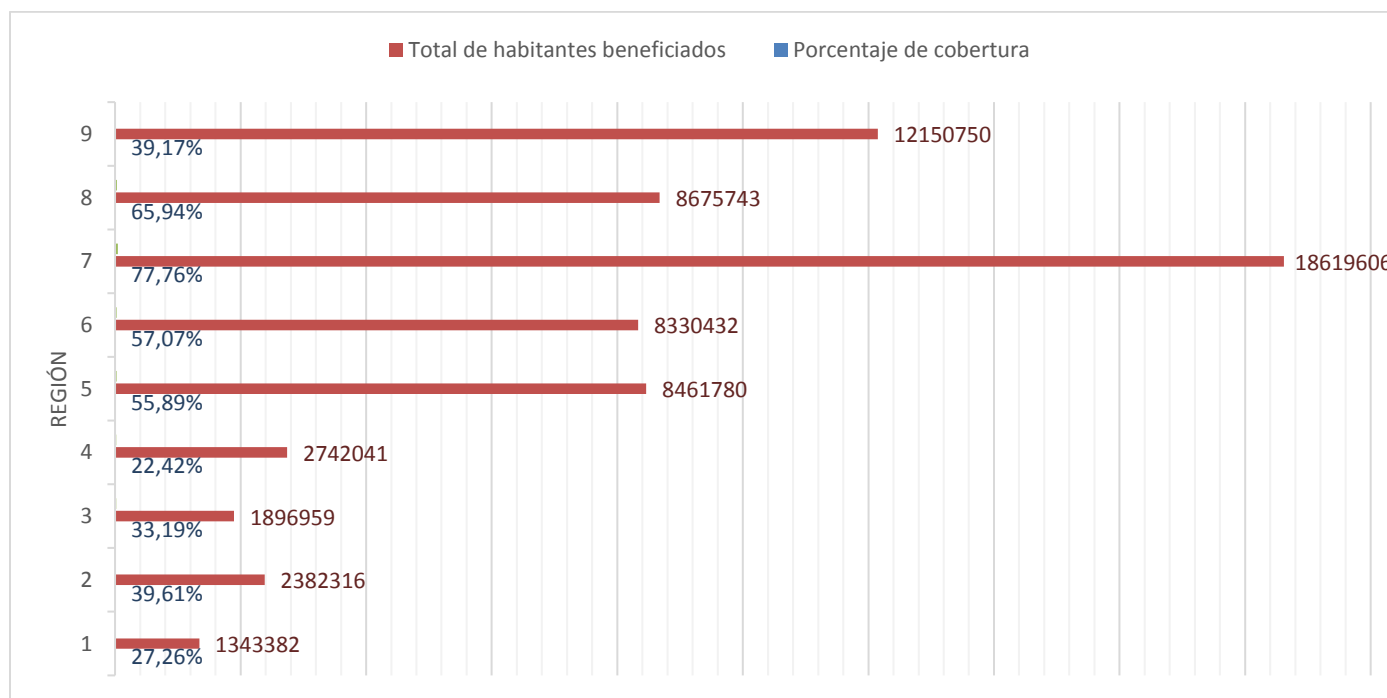
La simulación se realiza con dos a diez participantes para lo cual los participantes seleccionan las localidades con menor población, pero considerando localidades prioritarias. En los resultados de la simulación los operadores ganadores serán aquellos que obtengan el mayor porcentaje de cobertura, la mayor cantidad de localidades prioritarias y el despliegue en la menor cantidad de años. Se observa que para las regiones 7, 8, 6 y 5 se cubrirían un total de 77.76%, 65.94%, 57.07% y 55.89% respectivamente de cobertura utilizando este escenario. Por otra parte, la asignación con menor cobertura sería para regiones 2, 9, 3, 1 y 4 con porcentajes del 39,61%, 39.17%, 33,19%, 27,26% y 22.42% respectivamente. Ver Tabla (38) y Figura (16).

Tabla 38. Porcentaje de cobertura con menor población

Región	Localidades	Localidades prioritarias	Porcentaje de cobertura	Total de habitantes beneficiados
1	7391	23	27,26%	1,343,382
2	13099	137	39,61%	2,382,316
3	18043	366	33,19%	1,896,959
4	16406	121	22,42%	2,742,041
5	24290	359	55,89%	8,461,780
6	25188	1104	57,07%	8,330,432
7	46290	5095	77,76%	18,619,606
8	29809	2708	65,94%	8,675,743
9	11574	413	39,17%	12,150,750

Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Porcentaje de cobertura con menor población



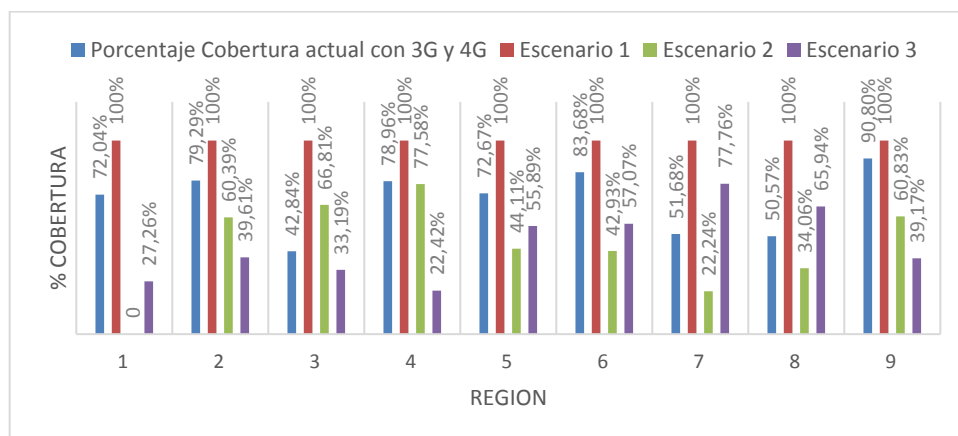
En resumen y de acuerdo a (IFT, 2020c) actualmente en México se cuenta con una cobertura para 2G, 3G y 4G de un 69.02 %, utilizando la subasta de aceptación de diferida se muestra en la Tabla (39) y Figura (17) el porcentaje de cobertura de acuerdo a la asignación de espectro.

Tabla 39.-Comparativo de cobertura actual y subasta DA

Región	Localidades con mayor población	Localidades con menor población	Localidades prioritarias	Porcentaje Cobertura actual con 2G,3G y 4G	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
1	6	7394	23	72,04%	100%	72,74%	27,26%
2	14	13099	137	79,29%	100%	60,39%	39,61%
3	8	18043	366	42,84%	100%	66,81%	33,19%
4	28	16406	121	78,96%	100%	77,58%	22,42%
5	18	24290	359	72,67%	100%	44,11%	55,89%
6	14	25188	1104	83,68%	100%	42,93%	57,07%
7	18	46290	5095	51,68%	100%	22,24%	77,76%
8	14	29809	2708	50,57%	100%	34,06%	65,94%
9	37	11574	413	90,80%	100%	60,83%	39,17%
				<b>69,17%</b>	<b>100,00%</b>	<b>51,12%</b>	<b>46,48%</b>

En la Figura (17) se puede observar el comparativo de la cobertura actual y los escenarios generados. El escenario uno representa el escenario ideal, pero poco probable por la inversión que es necesaria para lograrlo. En el escenario dos los participantes solo consideran las localidades más pobladas, por lo tanto las regiones 4, 1, 3, 9 y 2 obtendrían la mayor cobertura logrando un porcentaje mayor al 60 %, mientras que las regiones 5, 6, 8 y 7 lograrían cobertura menor al 44% y finalmente en el escenario tres las regiones 7, 8 6 y 5 lograrían la mayor cobertura considerando solo localidades prioritarias logrando un porcentaje mayor al 55% mientras que las regiones 2,9,3,1 y 4 lograrían una cobertura menor al 39%.

Figura 18.-Comparativo de cobertura actual y subasta DA



### g) Comparativo subastas actuales y subasta de aceptación diferida

Finalmente, a manera de resumen en la Tabla (40) se muestra de forma general las características principales de las subastas utilizadas actualmente en México y la propuesta de subasta utilizando SAD considerando la cobertura.

#### Precios

En las subastas actuales los precios en cada ronda incrementan de acuerdo a las propuestas en precios de los participantes, dando pie a que se pueda asignar espectro a operadores preponderantes o se genere la maldición del ganador ya que no hay un límite en los precios que se pueden proponer, mientras que en la SAD los precios decremantan de acuerdo a las localidades seleccionadas, cada participante puede seleccionar en cada ronda las localidades en las cuales tendrá obligaciones de cobertura.

#### Coalición

Actualmente en la asignación de espectro las subastas utilizadas aún permiten la coalición, mientras que la subasta de aceptación diferida ya no lo permitiría.













#### Restricción presupuestaria

Con la aplicación de restricción presupuestaria en la SAD los participantes tienen un límite en el precio inicial, por lo tanto, todos los participantes tendrán la oportunidad de ser ganadores de espectro radioeléctrico, e incluso si es operador preponderante no le dará ventaja en el proceso de la subasta.

#### Asignación considerando cobertura

Con la SAD la asignación permitiría que los participantes seleccionen en cada ronda las localidades a las cuales les darán cobertura, pero el espectro será asignado a aquellos que puedan lograr el despliegue de cobertura en el menor tiempo posible.

Tabla 40. Comparativo subastas actuales y subasta de aceptación diferida

Característica	Subasta ascendente	Subasta simultanea	Subasta Combinatoria de reloj	Subasta de aceptación diferida
Precios				
Coalición				
Restricción presupuestaria				
Privacidad				
Otros	No se ha implementado la asignación de cobertura desde la subasta.		No se ha implementado la asignación de cobertura desde la subasta	Se propone la asignación de espectro de acuerdo a localidades de cobertura.
Años	No considera los años en la asignación		No considera los años en la asignación	Considera los años para lograr la cobertura para asignar el espectro radioeléctrico.

## 8. CONCLUSIONES

La presente investigación propuso el análisis de la asignación de espectro radioeléctrico utilizando la subasta de aceptación diferida considerando la cobertura. Para ello, se realizó el análisis de los siguientes puntos: política pública que rige la asignación de espectro radioeléctrico, la situación actual de cobertura en redes móviles, los mecanismos de asignación y la simulación de tres escenarios utilizando la subasta de aceptación diferida. Se espera que esta investigación pueda contribuir en aportar información a los operadores móviles y regulador de telecomunicaciones a la asignación de espectro para redes 5G. Así mismo, se espera que esta investigación sirva de apoyo en la toma de decisiones en la selección de subastas para la asignación de espectro en México.

En el primer aspecto analizado referente a la política pública que rige la asignación se concluye que México utiliza como método para realizar expedición de licencias el método de recuperación de costos, que de acuerdo a la (ITU, 2015b), se considera que es un sistema justo, pero que no fomenta la utilización eficaz del espectro. Adicionalmente se encontró que México fija precios elevados para la asignación de espectro radioeléctrico, en este sentido es importante considerar que existen riesgos significativos al fijar precios elevados en la asignación de espectro radioeléctrico, ya que para el operador implica limitar sus planes presupuestarios y no se pueda invertir para ofrecer el servicio adecuadamente. Por lo tanto, si los encargados de establecer los precios siguen considerando precios elevados se corre el riesgo de que se tenga menor inversión y despliegue. Pues bien, es importante considerar que para el despliegue de 5G se requerirán altas inversiones, se debe hacer más accesible y asignarlo a costos más bajos (IFT, 2022a).

El segundo aspecto analizado fue el estatus de la cobertura en México en donde actualmente se tiene un 69,17% de cobertura en las tecnologías 2G, 3G y 4G. Por lo tanto, para el despliegue de la red 5G, deben considerarse primeramente la reorganización gradual de las bandas inferiores a 4 GHz y realizar la transición en la cual se garantice que los clientes con tecnologías inferiores mantengan el servicio, por otra parte, las nuevas bandas de frecuencia para 5G deben asignarse mediante licencias (GSMA, 2019d).

En tercer lugar, en el análisis de mecanismos de asignación se concluye que subastas actualmente utilizadas en México son: subasta simultánea ascendente y subasta combinatoria de reloj para la asignación de espectro radioeléctrico. Estas subastas permiten la asignación con precios ascendentes, no establecen precios límites, lo que lo convierte en una ventaja para los operadores con mayores niveles de producción. Adicionalmente permiten que los participantes conozcan detalles de las ofertas de sus rivales lo que puede ocasionar se generen estrategias entre los participantes, además se pueda generar especulación permitiendo a los participantes aumentar los montos en la subasta, lo que beneficia a los operadores preponderantes debido al costo de oportunidad ya que será mayor que los otros operadores. La literatura refiere que estas subastas han demostrado ser modelos que resolvieron algunos problemas identificados en modelos de subastas anteriores, pero también indican que tienen importantes debilidades. Es por ello que algunos investigadores ya han comenzado a presentar modificaciones para mejorar el modelo actual y superar las desventajas encontradas (Mochón & Saez, 2017).

Con respecto a los escenarios simulados para la asignación de espectro para bandas de frecuencia 5G se concluye que el escenario uno es el escenario perfecto, pero poco probable sea llevado a cabo debido a la inversión necesaria para lograr el 100% de cobertura. Mientras tanto en el escenario dos, en el cual solo se considera cobertura en ciudades importantes se lograría un 51,12% de cobertura a nivel nacional, pero de manera regional las regiones 4, 1, 3, 9 y 2 obtendrían un porcentaje mayor al 60% de cobertura. Por lo que se refiere al escenario tres a nivel nacional se lograría una cobertura de 46,48% y las regiones 7, 8, 6 y 5 lograrían cobertura mayor al 55%. Hay que mencionar, además que con las combinaciones adecuadas de los escenarios 2 y 3 se podría lograr un porcentaje mayor de cobertura para las regiones. En este sentido (GSMA, 2020) indica que uno de los principales desafíos para 5G es preparar estrategias en la asignación que permitan soportar la coordinación y la certeza de las inversiones, por lo que este análisis brinda un panorama general de la posible asignación de espectro de las bandas de frecuencia de 5G considerando cobertura.

Se puede concluir de manera general que la SAD es una opción factible para la asignación de espectro para las bandas que serán utilizadas para servicios de quinta generación, ya que se considera varios elementos como la disminución de precios, evita se pueda generar colusión ya que se establecen precios de apertura y restricción presupuestaria, haciéndola más justa; es a prueba de estrategia debido a que los participantes pueden tomar diferentes decisiones sin considerar las acciones de los demás participantes ya que conserva la privacidad de la información. Hay que mencionar, además que en esta subasta es imposible ser ganador de último momento y la única forma en que pueda asignarse espectro radioeléctrico a un agente preponderante es que este oferte el precio máximo de apertura, que seleccione la mayor cantidad de localidades normales y prioritarias en el menor número de años para el despliegue de cobertura, pero existe la posibilidad que existan participantes que con menores niveles de producción también puedan obtener el espectro.

Finalmente, y con mira a trabajos futuros, es importante considerar escenarios para la asignación de espectro en la que los participantes puedan adquirir una proporción de espectro en diferentes bandas de frecuencia de quinta generación.

## REFERENCIAS

- 5G-Americas. (2019). *Estado de las Bandas de Espectro Radioeléctrico En América Latina*(600 MHz,700 MHz, 2300 MHz,2500 MHz ,3500 MHz). Obtenido de <https://brechacero.com/wp-content/uploads/2019/07/WP-MULTIBANDA-30-jul-2019-ES.pdf>
- Abdelwahab, S., Hamdaoui, B., Guizani, M., & Rayes, A. (2014). Enabling smart cloud services through remote sensing: An internet of everything enabler. *IEEE Internet of Things Journal*. DOI:<https://doi.org/10.1109/JIOT.2014.2325071>, 1(3), 276–288. .
- Aker, J., Ghosh, I., & Burrell, J. (2016). The promise (and pitfalls) of ICT for agriculture initiatives. *Agricultural Economics*, 47, 35–48.
- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE COMMUNICATION SURVEYS & TUTORIALS*. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.02.027>, VOL. 17, NO. 4, FOURTH QUARTER 2015.
- Allnet. (2020). *Mexico 3.5GHz Spectrum - Additional Reconfiguration*. Obtenido de <https://www.allnetinsights.com/blogs/news/mexico-3-5ghz-spectrum-additional-reconfiguration>
- Álvarez, C. L. (2017a). *El Regulador De Telecomunicaciones: Instituto Federal De Telecomunicaciones*. Obtenido de <http://claraluzalvarez.org/wp-content/uploads/2020/06/Clara-Luz-Alvarez-Regulador-Telecom-IFT-Marzo-2017.pdf>
- Álvarez, C. L. (2017b). *Telecomunicaciones en la constitución*. Ciudad de México. Ciudad de México: CENTROS CULTURALES DE MÉXICO.
- Álvarez, C. L. (2018). *Telecomunicaciones y radiodifusión en México*. México: Posgrado de Derecho de la UNAM.
- AméricaMóvil. (2017). *Reporte Anual del 2017 América Móvil*. Obtenido de [https://s22.q4cdn.com/604986553/files/doc\\_financials/annual/2017/2017-annual-report-on-form-20-f.pdf](https://s22.q4cdn.com/604986553/files/doc_financials/annual/2017/2017-annual-report-on-form-20-f.pdf)
- ANE. (2020). *Documento de consulta pública sobre las bandas de frecuencias disponibles para el futuro desarrollo de las telecomunicaciones Móviles internacionales (IMT) en Colombia*. Obtenido de <http://www.ane.gov.co/Documentos%20compartidos/ArchivosDescargables/noticias/Consulta%20p%C3%BAblica%20sobre%20las%20bandas%20disponibles%20para%20el%20futuro%20desarrollo%20de%20las%20IMT%20en%20Colombia.pdf>
- APIEM. (2020). *Informe de estandarización y despliegue de 5G*. Obtenido de [http://apiem.org/images/contenidos/2020/APIEM\\_News/APIEM\\_News\\_27\\_de\\_julio/200723\\_AAFF-INFOestandarizacionDespliegue5G.pdf](http://apiem.org/images/contenidos/2020/APIEM_News/APIEM_News_27_de_julio/200723_AAFF-INFOestandarizacionDespliegue5G.pdf)
- Arias, F., Salado , A., Medina, C., & Zambrano, M. (2021). G technology deployment in Latin America: An analysis of public policy and regulation environment. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 11(3), 258–271. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2021.11.3.0457>.
- Asadi, A., & Mancuso, V. (2014). A survey on device-to-device communication in cellular networks. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 1801–1819. <https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2319555>.
- Baca-Feldman, C., Parra Hinojosa, D., & Huerta Velázquez, E. (2017). El espectro radioeléctrico como bien común: Una reflexión en torno a la comunalidad y las redes celulares comunitarias en Oaxaca, México. . *Revista Latinoamericana de Ciencias de La Comunicación*, 14(26).

- Bahia, K., Castells, P., Rodriguez-Castelan, C., Masaki, T., Cruz, G., Pfütze, T., . . . Pedrós, X. (2011). The Welfare Effects of Mobile Broadband Internet: Evidence from Nigeria (No. 9230). In *World Bank Policy Research Working Paper*.
- BancoMundial. (2016). Informe sobre el desarrollo mundial 2016: Dividendos digitales, cuadernillo del “Panorama general.” Banco Mundial.
- Beltrán, F. (2017). Accelerating the Introduction of Spectrum Sharing Using Market-Based Mechanisms. *IEEE Communications Standards Magazine*. DOI:10.1109/mcomstd.2017.1700012, 1(3), 66–72.
- Beltran, F., & Massaro, M. (2018). Spectrum management for 5G: assignment methods for spectrum sharing. *29th European Regional Conference of the International Telecommunications Society (ITS): “Towards a Digital Future: Turning Technology into Markets?”*.
- Binmore, K., & Klemperer, P. (2002). The biggest auction ever: the sale of the British 3G telecom licences. *The Economic Journal*. DOI:<https://doi.org/10.1111/1468-0297.00020>, 112(478), C74-C96.
- Blumenstock, J. (2020). Machine learning can help get COVID-19 aid to those who need it most. *Nature*.
- Calhoun, G. (1988). *Digital Cellular Radio*. Artech House, Inc., Norwood. Ballston Lake, New York: Artech House Telecommunication Library.
- Casanueva-Reguart, C. (2019). *Las Telecomunicaciones en México: Regulación y Reforma Competencia, Desarrollo de Infraestructura e Inclusión Digital, 1990-2018*. Porrúa.
- Casanueva-Reguart, C., & Pita, S. (2010). Telecommunications, Universal Service and Poverty in Mexico: a Public Policy Assessment (1990-2008). *Journal of Telecommunications and Information Technology*, 2, 15–27.
- CFT. (1995). *Información General COFETEL*. Obtenido de <http://www.cft.gob.mx:8080/portal/informacion-general/>
- Checko, A., Christiansen, H. L., Yan, Y., Scolari, L., Kardaras, G., Stübert, M., & Dittmann, L. (2015). Cloud RAN for Mobile Networks - A Technology Overview. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. 17(1), 405–426. DOI:<https://doi.org/10.1109/COMST.2014.2355255>.
- Const. (2021). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos. México: Cámara de diputados*. Obtenido de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1\\_280521.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/1_280521.pdf)
- Cramton, P., Yoav, S., & Steinberg, R. (2006). *Combinatorial Auctions*. Boston: MIT Press .
- ECC. (2013). *The harmonised use of the frequency band 1452-1492 MHz for Mobile/Fixed Communications Networks Supplemental Downlink (MFCN SDL)*. Obtenido de <https://docdb.cept.org/download/1509>
- FCC. (2019). *600 MHz Band Plan and License Information*. Federal Communications Commission. Obtenido de <https://www.fcc.gov/wireless/bureau-divisions/broadband-division/600-mhz-band>
- Flückiger, M., & Ludwig, M. (2020). Mobile phone coverage and infant mortality in Sub-Saharan Africa. *Economics Research Seminar*.
- Given, J., & Cave, M. (2017). Optimising Spectrum Use. *Telecommunications Policy*. DOI:10.1016/S0308-5961(17)30331-2, 41(5–6), iii–vi. .
- GSMA. (2015). *Global momentum and economic impact of the 1.4/1.5 GHz band for IMT*. Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2015/10/1-4-1-5GHz-L-band-for-IMT-OCTOBER-2015.pdf>
- GSMA. (09 de 2016). *Mejores prácticas en el otorgamiento de licencias de uso de espectro para servicios móviles*. Obtenido de [https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2016/11/spec\\_best\\_practice\\_SPA.pdf](https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2016/11/spec_best_practice_SPA.pdf)
- GSMA. (2019a). *Mejores prácticas en subastas de espectro. Documento de posicionamiento de política pública de GSMA*. Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/05/Auction-Best-Practice-SPA.pdf>

- GSMA. (2019b). *Espectro 5G-Posición de política pública de la GSMA*. Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/10/5G-Spectrum-Positions-SPA.pdf>
- GSMA. (2019c). *The impact of spectrum prices on consumers* . Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/09/Impact-of-spectrum-prices-on-consumers.pdf>
- GSMA. (2019d). *Los beneficios de la neutralidad tecnológica en las licencias de espectro*. Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2019/06/Benefits-of-Technology-Neutral-Spectrum-Licences-SPA.pdf>
- GSMA. (2020). *5G y el Rango 3,3-3,8 GHz en América Latina*. Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2020/11/5G-and-3.5-GHz-Range-in-Latam-Spanish.pdf>
- GSMA. (2021). *The WRC Series 3.5 GHz in the 5G Era, preparing for new services in 3.3-4.2 GHz*. Obtenido de <https://www.gsma.com/spectrum/wp-content/uploads/2021/04/3.5-GHz-for-5G.pdf>
- Gutiérrez, A., Gibaja, D., & Ovando, C. (2020). Simulaciones de subasta de aceptación diferida para la asignación de espectro radioeléctrico de la banda de 600 MHz. *trategy, Technology and Society*, 11–31.
- Hernando Rabanos, J. M., Mendo Tomás, L., & Riera Salís, J. M. (2013). *Transmisión por radio*. Madrid: Universitaria Ramón Areces.
- IFT. (1997a). *Licitación 1997-2*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/licitaciones-de-espectro/1997/2/12convocatoria-servicio-de-acceso-inalambrico-fijo-movil.pdf>
- IFT. (1997b). *Bases de licitación*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/licitaciones-de-espectro/1997/2/12bases-de-licitacion.pdf>
- IFT. (2009a). *Bases de licitación No.20*. Obtenido de [http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2009/20/bases\\_1.pdf](http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2009/20/bases_1.pdf)
- IFT. (2009b). *Bases de licitación No.21*. Obtenido de [http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2009/21/baseslic21\\_1.pdf](http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2009/21/baseslic21_1.pdf)
- IFT. (2009c). *Posturas validas más altas finales de la licitación No. 21*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2009/21/resultadosfinalespvmalic21vf.pdf#overlay-context=industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2009/licitacion-no-21-banda-de-frecuencias-1710-17>
- IFT. (2009d). *Resumen ejecutivo licitación No 20*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2009/20/informelicitacion20transparenciamexicanaaccesibilidad.pdf>
- IFT. (2010). *Tercer semestre trimestral del 2010*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/informes/iteltercertrimestre2010.pdf>
- IFT. (2011). *Informe estadístico cuarto trimestre 2011*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/informes/itelcuartotrimestre2011.pdf>
- IFT. (2012a). *Tercer informe trimestral estadístico 2012*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/comunicacion-y-medios/informes/tercertrimestrede2012.pdf>

- IFT. (2012b). *Resolución Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/cnaf-cft-28022012-1.pdf>
- IFT. (2015a). *Acuerdo IFT-3*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/espectro/2015/3/acuerdo1.pdf>
- IFT. (2015b). *Bases de licitación Pública IFT-3*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/espectro/2015/3/basesdelicitacionift-31.pdf>
- IFT. (2015c). *Licitación No. IFT-3. Apéndice B. Procedimiento de Presentación de la Oferta Económica y determinación de Frecuencias Específicas a ser Asignadas*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/espectro/2015/3/apendiceb.pdf>
- IFT. (2015d). *Resultados Finales de la Presentación de Ofertas Económicas IFT-3*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/espectro/2015/3/resultadosdelaterceraetapa-presentaciondelasofertaseconomicas.pdf>
- IFT. (2016). *El espectro radioeléctrico en México-Estudios y acciones- Más y Mejor Espectro para Banda Ancha*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/el-espectro-radioel-ctrico-en-mexico.estudio-y-acciones-final-consulta.pdf>
- IFT. (2018a). *Licitación No IFT-7 Apéndice B. Procedimiento de presentación de ofertas*. Obtenido de [http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2018/7/apendiceb\\_0.pdf](http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2018/7/apendiceb_0.pdf)
- IFT. (2018b). *Importancia y valor del Espectro: Experiencia en Asignación y Valuación*. Obtenido de [https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/Events2018/RED-AMS\\_Mexico/Ses3-6%20Importancia%20Valor%20Espectro%20CSanchez%20IFT%20Mexico.pdf](https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/Events2018/RED-AMS_Mexico/Ses3-6%20Importancia%20Valor%20Espectro%20CSanchez%20IFT%20Mexico.pdf)
- IFT. (2018c). *Resolución Cesión de Derechos de Ultravisión a Radiomóvil Dipsa, S.A de C.V*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/sesiones/acuerdoliga/pift210819410.pdf>
- IFT. (2018d). *Licitación No. IFT-7*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2018/licitacion-no-ift-7-servicio-de-acceso-inalambrico>
- IFT. (2018e). *PROGRAMA NACIONAL DE ESPECTRO RADIOELÉCTRICO 2017-2018*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sct/documentos/programa-nacional-de-espectro-radioelectrico-2017-2018>
- IFT. (2019a). *Panorama del espectro radioeléctrico en México para servicios móviles de quinta generación. Unidad de Espectro Radioeléctrico*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/panoramadespectroradioelectricoenmexicopara5g.pdf>
- IFT. (2019b). *Asignación de Espectro para 5G - desafíos regulatorios, económicos y financieros La Experiencia de México*. Obtenido de <https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/Events2019/SantoDomingo/5G-Workshop/TallerS4Expositor2.pdf>
- IFT. (2020a). *Descripciones Técnicas de las Bandas de Frecuencias Incluidas en el programa anual de uso y aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2020*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/sesiones/acuerdoliga/pift131219936accdescrip.pdf>
- IFT. (2020b). *El espectro radioelectrico en Mexico. Estudio y acciones*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/espectro-radioelectrico-en-mexico-vp.pdf>
- IFT. (2020c). *Reporte de Cobertura Móvil en México 2020 (Quién es quién)*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/politica-regulatoria/reportequesq2020t2.pdf>

- IFT. (2020d). *Licitación No. IFT-10 Apéndice B. Procedimiento de Presentación de Ofertas*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/15923/documentos/apendiceb-ppoift-10vengrosesc.docx>
- IFT. (2020e). *Efectos y alternativas de la iniciativa de Reforma a la Ley Federal de Derechos para 2021 en Materia de Espectro Radioeléctrico*. Obtenido de [http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/efectosyalternativasdelainiciativadereformaalaleyfederaldederechospara2021enmateriadeespectroradioel\\_0.pdf](http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/espectro-radioelectrico/efectosyalternativasdelainiciativadereformaalaleyfederaldederechospara2021enmateriadeespectroradioel_0.pdf)
- IFT. (2020f). *Banco de Información de Telecomunicaciones (BIT) México*. Obtenido de <https://bit.ift.org.mx/BitWebApp/>
- IFT. (2020g). *Primer informe trimestral estadístico 2020*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/estadisticas/ite2t2020.pdf>
- IFT. (2020h). *Unidad de espectro radioeléctrico*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/temasrelevantes/consultaspublicas/documentos/5.pdf>
- IFT. (2021a). *Descripciones técnicas de las bandas de frecuencias incluidas en el programa anual de uso y aprovechamiento de Bandas de Frecuencias de 2021*. Obtenido de [http://www.ift.org.mx/sites/default/files/descripciones\\_tecnicas\\_del\\_programa\\_2021\\_y\\_sus\\_modificaciones.pdf](http://www.ift.org.mx/sites/default/files/descripciones_tecnicas_del_programa_2021_y_sus_modificaciones.pdf)
- IFT. (2021b). *Descripciones técnicas de las bandas de frecuencias incluidas en el Programa Anual de Uso y Aprovechamiento de Bandas de Frecuencias 2021*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/conocenos/pleno/sesiones/acuerdoliga/pift20012110descriptecnicas.pdf>
- IFT. (2021c). *Cálculo del WACC para los modelos de interconexión 2021*. Obtenido de <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/contenidogeneral/politica-regulatoria/wacc2021.pdf>
- IFT. (2021d). Obtenido de Licitación No. IFT 10 (Servicio de Acceso Inalámbrico): <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2021/1/basesdelicitacionift-10.pdf>
- IFT. (2021e). Obtenido de Resultados del Procedimiento de Presentación de Ofertas de la Licitación Pública (IFT-10): <http://www.ift.org.mx/sites/default/files/industria/espectro-radioelectrico/telecomunicaciones/2021/1/reportefinalderesultadosdelppoift-10.pdf>
- IFT. (2022a). *IFT*. Obtenido de Valuacion del espectro radioelectrico: <https://www.ift.org.mx/espectro-radioelectrico/valuacion-del-espectro-radioelectrico>
- IFT. (2022b). Obtenido de El Pleno del IFT aprueba modificar 18 títulos de concesión de Telcel para ofrecer servicios 5G. (Comunicado 8/2022) 09 de febrero: <https://www.ift.org.mx/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/es/el-pleno-del-ift-aprueba-modificar-18-titulos-de-concesion-de-telcel-para-ofrecer-servicios-5g-0>
- Ilin, C., Annan-Phan, S., Tai, X., Mehra, S., Hsiang, S., & Blumenstock, J. (2021). Public mobility data enables COVID-19 forecasting and management at local and global scales. . *Scientific Reports*, 11(1), 1–11.
- ITU. (2015a). *Manual sobre la gestión nacional del espectro*. Obtenido de [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/hdb/R-HDB-21-2015-PDF-S.pdf)
- ITU. (2015b). Obtenido de Informe UIT-R SM.2012-4. Aspectos económicos de la gestión del espectro. Serie SM. Gestión del espectro.: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2012-4-2014-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-r/opb/rep/R-REP-SM.2012-4-2014-PDF-S.pdf)

- ITU. (2016). *ITU*. Recuperado el 17 de 08 de 2020, de Directrices de política y aspectos económicos de asignación y uso del espectro radioeléctrico: [https://www.itu.int/dms\\_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-EF.RAD\\_SPEC\\_GUIDE-2016-PDF-S.pdf](https://www.itu.int/dms_pub/itu-d/opb/pref/D-PREF-EF.RAD_SPEC_GUIDE-2016-PDF-S.pdf)
- ITU. (2017). *Report ITU-R M.2410-0 (11/2017) Minimum requirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s)*. Obtenido de <https://www.itu.int/pub/R-REP-M.2410-2017/es>
- ITU. (2020). *Reglamento de radiocomunicaciones*. Obtenido de <https://www.itu.int/es/publications/ITU-R/pages/publications.aspx?parent=R-REG-RR-2020&media=electronic>
- Jilani, S. A., & Ansari, V. A. (2012). A guide to auctions: Special reference to spectrum auctions. *A Journal of Management*, 12-26.
- Kaila, H., & Tarp, F. (2019). Can the Internet improve agricultural production? Evidence from Viet Nam. *Agricultural Economics*, 50(6), 675–691.
- Karagiannis, G., Altintas, O., Ekici, E., Heijenk, G., Jarupan, B., Lin, K., & Weil, T. (2011). Vehicular networking: A survey and tutorial on requirements, architectures, challenges, standards and solutions. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 13(4), 584–616.  
DOI:<https://doi.org/10.1109/SURV.2011.061411.00019>.
- Klemperer, P. (1999). Auction Theory: A Guide to the Literature. *Journal of Economic Surveys*, 227-286.
- Kumar, K., & Lu, Y.-H. (2010). Cloud computing from mobile users: Can offloading computation save energy? *IEEE Computer*, 43(4), 51–56.
- Kuroda, T., & Baquero Forero, M. d. (2017). The effects of spectrum allocation mechanisms on market outcomes: Auctions vs beauty contests. *Telecommunications Policy*, 341-354.
- Lawrence M, A., & Milgrom, P. (2002). Ascending Auctions with Package Bidding. *The B.E. Journal of Theoretical Economics*.
- Lawrence, A., Cramton, P., & Milgrom, P. (2005). The clock-proxy auction: A practical combinatorial auction design. *Cambridge: MIT Press*.  
DOI:<https://doi.org/10.7551/mitpress/9780262033428.003.0006>, 115–138.
- León, O. (2009). Perspectivas de las tecnologías de telecomunicaciones y sus implicancias en los mercados y marcos regulatorios en los países de América Latina y el Caribe. *Colección Documentos de Proyectos*, (271), 1–67. Retrieved from <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/3728>. Obtenido de (271), 1–67. Retrieved from <http://repositorio.cepal.org/handle/11362/3728>
- LFTR. (2021). *LEY FEDERAL DE TELECOMUNICACIONES Y RADIODIFUSIÓN*. Obtenido de [http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR\\_200521.pdf](http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LFTR_200521.pdf)
- Li, S. (2017). Obviously Strategy-Proof Mechanisms. *American Economic Review*, 107 (11):3257–87.
- Lindeke, R. R. (2018). *Engineering Standards: What They Are and Why They Are Used*. Obtenido de <https://studylib.net/doc/10124014/engineering-standards-what-they-are-and-where-they-re-used>
- Lopez-Lopez, L., Stevens Navarro, E., Matinmikko Blue, M., Aguilar Gonzalez, R., Cardenas Juarez, M., & Katz, M. (2020). Spectrum challenges for beyond 5G: The case of Mexico. 2nd 6G Wireless Summit 2020: Gain Edge for the 6G Era. *6G SUMMIT 2020*, 2–6.  
DOI:<https://doi.org/10.1109/6GSUMMIT49458.2020.9083837>.
- Mach, P., & Becvar, Z. (2017). Mobile Edge Computing: A Survey on Architecture and Computation Offloading. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, 19(3), 1628–1656.  
DOI:<https://doi.org/10.1109/COMST.2017.2682318>.
- Martínez, R., & Jiao, W. (2017). A Brief Review and Analysis of Spectrum Auctions in Canada. *Duke University Durham North Carolina*.  
<https://dukespace.lib.duke.edu/dspace/bitstream/handle/10161/14310/Martinez-CidJiao2017.pdf>.
- Massaro, M. (2017). Next generation of radio spectrum management: Licensed shared access for 5G. *Telecommunications Policy*. DOI:10.1016/j.telpol.2017.04.003, 41(5-6), 422–433.

- Matinmikko-Blue, M., Yrjölä, S., Ahokangas, P., Seppänen, V., Hämmäinen, H., & Jurva, R. (2019). Value of the spectrum for local mobile communication networks: Insights into awarding and pricing the 5G spectrum bands. *30th European Conference of the International Telecommunications Society (ITS): "Towards a Connected and Automated Society."*
- Mensah, J. (2021). Mobile Phones and Local Economic Development: A Global Evidence. *SSRN Electronic Journal*, 1–22.
- Milgrom, P., & Segal, I. (2020). Clock Auctions and Radio Spectrum Reallocation. *Journal of Political Economy*. *Doi:https://doi.org/10.1086/704074*, 128(1), 1–31.
- Mochón, A., & Saez, Y. (2017). A review of radio spectrum combinatorial clock auctions. *Telecommunications Policy*. *Doi:https://doi.org/10.1016/j.telpol.2016.12.003*, 41(5–6), 303–324.
- Mochón, A., & Sáez, Y. (2020). Paul Milgrom y Robert Wilson, premio Nobel de Economía 2020 de la Teoría a la Práctica a través de las subastas. *Economía Industrial*, 179–183.
- Montenegro, J., López, J., & Peralta, R. (2010). Computación Segura Multiparte Aplicada a subastas electrónicas. *IX Jornadas de Ingeniería*.
- Naciones Unidas. (2019). *Informe Mundial sobre el Desarrollo Sostenible 2019: El futuro es ahora - La ciencia al servicio del desarrollo sostenible*. Obtenido de [https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26929Spanish1918563\\_S\\_GlobalSusDevReport2019.pdf](https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/26929Spanish1918563_S_GlobalSusDevReport2019.pdf)
- OCDE. (2016). *Broadband Policies for Latin America and the Caribbean. A Digital Economy Toolkit*. Obtenido de <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264259027-6-es.pdf?expires=1629507826&id=id&accname=guest&checksum=E35C3006262BB1168FC564A1E CDCF31B>
- OCDE. (2016). *Políticas de banda ancha para América Latina y el Caribe*. Obtenido de <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789264259027-6-es.pdf?expires=1629507826&id=id&accname=guest&checksum=E35C3006262BB1168FC564A1E CDCF31B>
- OCDE. (2017a). *Estudio de la OCDE sobre telecomunicaciones y radiodifusión en México 2017*. Obtenido de [http://www.ift.org.mx/sites/default/files/estudio\\_de\\_la\\_ocde\\_sobre\\_telecomunicaciones\\_y\\_radiodifusion\\_en\\_mexico\\_2017.pdf](http://www.ift.org.mx/sites/default/files/estudio_de_la_ocde_sobre_telecomunicaciones_y_radiodifusion_en_mexico_2017.pdf)
- Ogunniyi, M., & Ojebuyi, B. (2016). Mobile Phone Use for Agribusiness by Farmers in Southwest Nigeria. *Journal of Agricultural Extension*, 20(2), 172–187.
- Palacio Jaramillo, A. (2015). Reglamentación del uso del espectro radioeléctrico en las actividades espaciales. *Revista de Derecho, Comunicaciones y Nuevas Tecnologías*. *DOI:https://doi.org/10.15425/redecom.14.2015.10*, 1–19.
- Pogorel, G. (2007). Nine Regimes of Radio Spectrum Management: A 4-Step Decision Guide. *Ecole Nationale Supérieure des Télécommunications*.
- PROFECO. (2020). *Evolución y cambio en oferta de servicios de telecomunicaciones*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/551880/Evolucion\\_y\\_Cambio\\_en\\_oferta\\_de\\_servicios\\_de\\_Telecomunicaciones\\_Profeco.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/551880/Evolucion_y_Cambio_en_oferta_de_servicios_de_Telecomunicaciones_Profeco.pdf)
- Ramirez, A. M. (2015). Desde la conectividad hasta la Internet de Todo. Saber y Hacer. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2, 19–31.
- Rodríguez-Castelán, C., Lach, S., Masaki, T., & Granguillhome Ochoa, R. (2021). How do digital technologies affect household welfare in developing countries? Evidence from Senegal.
- Rothkopf, M., Teisberg, T., & Kahn, E. (1990). Why Are Vickrey Auctions Rare. *Journal of Political Economy*, 94–109.

- SCT. (2015a). *Red Compartida-Criterios Generales*. Obtenido de [http://www.sct.gob.mx/red-compartida/descargaPDF/Criterios\\_de\\_las\\_pre-bases\\_de\\_la\\_licitacion.pdf](http://www.sct.gob.mx/red-compartida/descargaPDF/Criterios_de_las_pre-bases_de_la_licitacion.pdf)
- SCT. (2015b). *Prebases del concurso de la red compartida*. Obtenido de <http://www.sct.gob.mx/red-compartida/inversionistas-3.html>
- SCT. (2016). *Contrato Red Compartida* . Obtenido de <http://www.sct.gob.mx/red-compartida/Compranet/Contrato-Version-Publica.pdf>
- SCT. (2019). *Transición a 5G: ¿Estamos preparados?* Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/479509/doc\\_base\\_transicion\\_a\\_5g\\_estamos\\_preparados.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/479509/doc_base_transicion_a_5g_estamos_preparados.pdf)
- SCT. (2020a). *CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANOS*. Obtenido de <http://www.sct.gob.mx/JURE/doc/cpeum.pdf>
- SCT. (2020b). *Programa Sectorial de Comunicaciones y Transportes 2020-2024. Programa Sectorial del Plan Nacional de Desarrollo 2019-2024*. Obtenido de [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/565614/Programa\\_Sectorial\\_de\\_Comunicaciones\\_y\\_Transportes\\_2020-2024.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/565614/Programa_Sectorial_de_Comunicaciones_y_Transportes_2020-2024.pdf)
- SCT. (2020c). *Programa de Cobertura Social 2020-2021. (Anexo 2)*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sct/acciones-y-programas/programa-de-cobertura-social>
- SCT. (2020d). *Programa de Cobertura Social 2020-2021(Anexo 1)*. Obtenido de <https://www.gob.mx/sct/acciones-y-programas/programa-de-cobertura-social>
- SEGOB. (2021). *ACUERDO por el que se da a conocer el Programa de Cobertura Social 2020-2021 de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes*. Obtenido de [http://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5616104&fecha=16/04/2021](http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5616104&fecha=16/04/2021)
- Swinkels, J. M. (2001). Efficiency of large private value auctions. *Econometrica*. DOI:<https://doi.org/10.1111/1468-0262.00178>, 69(1), 37–68.
- Tikhomirov, A., Omelyanchuk, E., & Semenova, A. (2018). Recommended 5G frequency bands evaluation. *Telecommunication systems department National Research University of Electronic Technology (MIET)*. doi:[10.1109/sosg.2018.8350639](https://doi.org/10.1109/sosg.2018.8350639) .
- Wang, Q., Sun, Q., & Jia, X. (2016). THEMIS: Collusion-resistant and fair pricing spectrum auction under dynamic supply. *IEEE Transactions on Mobile Computing*. DOI:[10.1109/TMC.2016.2609425](https://doi.org/10.1109/TMC.2016.2609425), 16(7), 2051-2064.
- Wesolowski, A., Eagle, N., Noor, A., Snow, R., & Buckee, C. (2013). The impact of biases in mobile phone ownership on estimates of human mobility. *Journal of the Royal Society Interface*, 10(81).
- Wu, G., Nageen, H., Johnson, K., & Talwar, S. (2011). M2M: From Mobile to Embedded Internet. *IEEE Communications Magazine*, 49(4), 36–43. DOI:<https://doi.org/10.2979/textcult.6.1.97>.
- Zhou, H., Berry, R., Honig, M., & Vohra, R. (2009). Complementarities in spectrum markets. *2009 47th Annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Allerton 2009.*, <https://doi.org/10.1109/ALLERTON.2009.5394903>.

## ANEXOS

### A) Definiciones

Los siguientes términos fueron obtenidos de (IFT, 2020d), los términos pueden ser utilizados indistintamente en singular o en plural. Cuando el contexto así lo requiera, cualquier pronombre incluirá la forma masculina, femenina o neutral correspondiente.

**Acceso Inalámbrico**: Enlace radioeléctrico bidireccional entre una red pública de telecomunicaciones para la transmisión de signos, señales, escritos, imágenes, video, voz, sonidos, datos o información de cualquier naturaleza.

**Banda 2.5 GHz**: Espectro radioeléctrico que comprende el segmento de frecuencias 2500 a 2690 MHz.

**Banda 800 MHz**: Espectro radioeléctrico que comprende los segmentos de frecuencias 814 a 824 MHz y 859 a 869 MHz.

**Banda AWS**: Espectro radioeléctrico que comprende los segmentos de frecuencias 1710 a 1780 MHz y 2110 a 2180 MHz.

**Banda PCS**: Espectro radioeléctrico que comprende los segmentos de frecuencias 1850 a 1915 MHz y 1930 a 1995 MHz.

**Banda de Frecuencias**: Porción del espectro radioeléctrico comprendida entre dos frecuencias determinadas.

**Bases**: Bases de Licitación Pública para concesionar el uso, aprovechamiento y explotación comercial de segmentos de espectro radioeléctrico disponibles.

**Bloque**: Cada una de las porciones de espectro radioeléctrico que son objeto de una Licitación.

**Concesión de Espectro Radioeléctrico para Uso Comercial**: Acto administrativo mediante el cual el IFT, en términos de lo dispuesto en los artículos 3, fracción XIII, 75 y 76, fracción I de la Ley, confiere el derecho a personas físicas o morales para usar, aprovechar y explotar bandas de frecuencias del espectro radioeléctrico de uso determinado, con fines de lucro.

**Constancia de Participación**: Documento emitido por el Instituto mediante el cual reconoce formalmente a un Interesado la calidad de Participante en la Licitación.

**Contraprestación:** Cantidad total de dinero, expresada en pesos mexicanos, que deberá pagar el Participante Ganador por el otorgamiento de la Concesión de Espectro Radioeléctrico para Uso Comercial, en términos de la Ley.

**Etapas:** Ronda o conjunto de Rondas

**Fórmula de Conversión:** Representación matemática que se utiliza para determinar el Componente Económico de una Oferta, Oferta Mínima, Oferta Válida u OVMA, según sea el caso, por un Bloque específico.

**Interesado:** Persona física, moral o Consorcio que haya realizado la Manifestación de Interés a que se refiere el numeral 6.1.1 de las Bases.

**Ley:** Ley Federal de Telecomunicaciones y Radiodifusión.

**Licitación:** Procedimiento para el concesionamiento del uso, aprovechamiento y explotación comercial de segmentos de espectro radioeléctrico disponibles.

**Oferta:** Postura en Puntos por un Bloque específico en una Ronda determinada.

**Oferta Mínima:** Oferta con el valor más bajo que en cada Ronda puede ser seleccionada.

**Oferta Válida:** Oferta seleccionada y confirmada por un Participante.

**Pago por Retiro:** Monto en dinero, expresado en pesos mexicanos, que deberá cubrir el Participante o Participante Ganador, según sea el caso, por retirarse.

**Participante:** Interesado al que el Instituto le otorga y entrega una Constancia de Participación.

**Participante Ganador:** Participante en favor del cual se emite un Acta de Fallo.

**Periodo de Reporte:** Periodo en el cual se calculan y se publican los resultados de cada Ronda.

**Regiones Celulares:** Cada una en las que se divide el territorio nacional:

**Región 1:** Todos los municipios de Baja California, Baja California Sur y el municipio de San Luis Río Colorado del estado de Sonora.

**Región 2:** Todos los municipios de Sinaloa y todos los de Sonora, excepto el municipio de San Luis Río Colorado.

**Región 3:** Todos los municipios de los estados de Chihuahua y Durango y los municipios Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón y Viesca del estado de Coahuila.

**Región 4:** Todos los municipios de los estados de Nuevo León, Tamaulipas y Coahuila, con excepción de los municipios de Francisco I. Madero, Matamoros, San Pedro, Torreón y Viesca.

**Región 5:** Todos los municipios de los estados de Colima, Michoacán, Nayarit y Jalisco, excepto los municipios de Bolaños, Colotlán, Encarnación de Díaz, Huejúcar, Huejuquilla el Alto, Lagos de Moreno, Mezquitic, Ojuelos de Jalisco, Santa María de los Ángeles, Teocaltiche, Villa Guerrero y Villa Hidalgo.

**Región 6:** Todos los municipios de Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro, San Luis Potosí, Zacatecas y los municipios de Bolaños, Colotlán, Encarnación de Díaz, Huejúcar, Huejuquilla el Alto, Lagos de Moreno, Mezquitic, Ojuelos de Jalisco, Santa María de los Ángeles, Teocaltiche, Villa Guerrero y Villa Hidalgo del estado de Jalisco.

**Región 7:** Todos los municipios de los estados de Guerrero, Oaxaca, Puebla, Tlaxcala y Veracruz.

**Región 8:** Todos los municipios de los estados de Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco y Yucatán.

**Región 9:** Todos los municipios de los estados de Hidalgo, Morelos y México, y las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México.

**Ronda:** Periodo de tiempo en el cual los Participantes pueden presentar Ofertas Válidas, aplicar Retiros.

**Valor Mínimo de Referencia (VMR):** Cantidad expresada en dinero, en pesos mexicanos, misma que será considerada como el monto mínimo que se deberá pagar como Contraprestación por la adjudicación de la concesión de un Bloque determinado.

## B) Población por estado y por región

Tabla 41. Población por estado

Nombre de Entidad	Población
Aguascalientes	1,403,635
Baja California	4,027,238
Baja California Sur	900,747
Campeche	932,708
Chiapas	5,581,637
Chihuahua	3,841,025
Ciudad de Mexico	9,221,484
Coahuila de Zaragoza	3,182,639
Colima	743,281
Durango	1,875,277
Guanajuato	6,262,751
Guerrero	3,638,923
Hidalgo	3,035,974
Jalisco	8,244,964
Mexico	16,768,082
Michoacán de Ocampo	4,897,709
Morelos	1,992,036
Nayarit	1,253,048
Nuevo León	5,408,998
Oaxaca	4,164,199
Puebla	6,592,090
Querétaro	2,360,491
Quintana Roo	1,847,764
San Luis Potosí	2,906,133
Sinaloa	3,146,096
Sonora	2,869,084
Tabasco	2,469,286
Tamaulipas	3,636,166
Tlaxcala	1,324,667
Veracruz de Ignacio de la Llave	8,226,093
Yucatán	2,325,239
Zacatecas	1,664,043
<b>Total</b>	<b>126,743,507</b>

Tabla 42. Población por región

Región	Población
1	4,927,985
2	6,015,180
3	5,716,302
4	12,227,803
5	15,139,002
6	14,597,053
7	23,945,972
8	13,156,634
9	31,017,576
<b>TOTAL</b>	<b>126,743,507</b>

## C) Cobertura por población por región

Se presenta a continuación los datos generales para facilitar la selección de los datos para realizar la evaluación de la subasta de asignación diferida. Para lo cual los datos a nivel nacional son agrupados por regiones y la población es clasificada en clases, se contempla la cantidad de localidades y las localidades prioritarias. Así mismo, se colocan los nombres de las localidades principales de cada región y el porcentaje de cobertura que se puede lograr en la selección de localidades.

### 1) Región 1

Para Región 1 se tiene una población total de 4,927, 995 habitantes, con 7397 localidades y 23 localidades prioritarias como se observa en la Tabla (43).

Tabla 43. Datos de población y cobertura Región 1

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
1	1	129333	7391 *		23	1343382	27,26%
2	129334	258665	3	La Paz/San José del Cabo/Cabo San Lucas	0	589120	11,95%
3	258666	387997	1	Ensenada	0	330652	6,71%
4	387998	517329	0		0	0	0,00%
5	517330	646661	0		0	0	0,00%
6	646662	775993	0		0	0	0,00%
7	775994	905325	1	Mexicali	0	854196	17,33%
8	905326	1034657	0		0	0	0,00%
9	1034658	1163989	0		0	0	0,00%
10	1163990	1293321	0		0	0	0,00%
11	1293322	1422653	0		0	0	0,00%
12	1422654	1551985	0		0	0	0,00%
13	1551986	1681317	0		0	0	0,00%
14	1681318	1810645	1	Tijuana	0	1810645	36,74%
<b>Total</b>			<b>7397</b>		<b>23</b>	<b>4927995</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 2) Region 2

Tabla 44. Datos de población y cobertura Región 2

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
1	1	53895	13099 *		137	2382316	39,61%
2	53896	107789	5	Guasave/Guamúchil/Agua Prieta/Heroica Caborca/Puerto Peñasco	0	363998	6,05%
3	107790	161683	2	Guaymas/Navojoa	0	238179	3,96%
4	161684	215577	1	San Luis Rio Colorado	0	176685	2,94%
5	215578	269471	1	Nogales	0	261137	4,34%
6	269472	323365	1	Los Mochis	0	298009	4,95%
7	323366	377259	1	Ciudad Obregón	0	329404	5,48%
8	377260	431153	0		0	0	0,00%
9	431154	485047	1	Mazatlán	0	441975	7,35%
10	485048	538941	0		0	0	0,00%
11	538942	592835	0		0	0	0,00%
12	592836	646729	0		0	0	0,00%
13	646730	700623	0		0	0	0,00%
14	700624	754517	1	Hermosillo	0	715061	11,89%
15	754518	808416	1	Culiacán	0	808416	13,44%
Total			13113		137	6015180	100,00%

Fuente: Elaboración propia

## 3) Region 3

Tabla 45. Datos de población y cobertura Región 3

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
1	1	93848	18043		366	1896959	33,19%
2	93849	187695	4	Cuauhtémoc/ Delicias/ Parral/Lerdo	0	474220	8,30%
3	187696	281542	0		0	0	0,00%
4	281543	375389	1	Gómez Palacio	0	301742	5,28%
5	375390	469236	0		0	0	0,00%
6	469237	563083	0		0	0	0,00%

7	563084	656930	1	Victoria De Durango	0	616068	10,78%
8	656931	750777	0		0	0	0,00%
9	750778	844624	0		0	0	0,00%
10	844625	938471	1	Chihuahua	0	925762	16,20%
11	938472	1032318	0		0	0	0,00%
12	1032319	1126165	0		0	0	0,00%
13	1126166	1220012	0		0	0	0,00%
14	1220013	1313859	0		0	0	0,00%
15	1313860	1407706	0		0	0	0,00%
16	1407707	1501551	1	Ciudad Juárez	0	1501551	26,27%
<b>Total</b>			<b>18051</b>		<b>366</b>	<b>5716302</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** Elaboración propia

#### 4) Region 4

Tabla 46. Datos de población y cobertura Región 4

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
1	1	71436	16406		121	2742041	22,42%
2	71437	142872	8	Frontera/Ramos Arizpe/Cadereyta/San Pedro Garza García/Jardines De La Silla /Altamira/Ciudad Mante/Ciudad Rio Bravo	0	748452	6,12%
3	142873	214308	4	Ciudad Acuña/Piedras Negras/Miramar/Ciudad Madero	0	701937	5,74%
4	214309	285744	2	Monclova/García	0	471867	3,86%
5	285745	357180	5	Ciudad General Escobedo/Ciudad Benito Juárez/Ciudad Santa Catarina/Tampico/Ciudad Victoria	0	1594254	13,04%
6	357181	428616	1	Nuevo Laredo	0	416055	3,40%
7	428617	500052	1	San Nicolás de los Garza	0	443273	3,63%
8	500053	571488	2	Ciudad Apodaca/ Matamoros	0	1047175	8,56%
9	571489	642924	0		0	0	0,00%
10	642925	714360	3	Torreón/Guadalupe/ Reynosa	0	2055366	16,81%
11	714361	785796	0		0	0	0,00%
12	785797	857232	0		0	0	0,00%
13	857233	928668	1	Saltillo	0	864431	7,07%
14	928669	1000104	0		0	0	0,00%
15	1000105	1071540	0		0	0	0,00%
16	1071541	1142952	1	Monterrey	0	1142952	9,35%
<b>Total</b>			<b>16434</b>		<b>121</b>	<b>12227803</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 5) Region 5

Tabla 47. Datos de población y cobertura Región 5

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
1	1	93450	24290	Colima/Manzanillo/Ciudad De Villa De Álvarez/Ciudad Guzmán/Lagos De Moreno/Ocotlán/Tepatlán De Morelos/Hacienda Santa Fe/Apatzingán De La Constitución/Zamora De Hidalgo	359	8461780	55,89%
2	93451	186899	10	Puerto Vallarta	0	1267760	8,37%
3	186900	280348	1	Uruapan/Tepic	0	224166	1,48%
4	280349	373797	2	Tonalá	0	670910	4,43%
5	373798	467246	1		0	442440	2,92%
6	467247	560695	0		0	0	0,00%
7	560696	654144	1	Tlaquepaque	0	575942	3,80%
8	654145	747593	1	Morelia	0	743275	4,91%
9	747594	841042	0		0	0	0,00%
10	841043	934491	0		0	0	0,00%
11	934492	1027940	0		0	0	0,00%
12	1027941	1121389	0		0	0	0,00%
13	1121390	1214838	0		0	0	0,00%
14	1214839	1308287	1	Zapopan	0	1257547	8,31%
15	1308288	1495182	1	Guadalajara	0	1495182	9,88%
<b>Total</b>			<b>24308</b>		<b>359</b>	<b>15139002</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 6) Region 6

Tabla 48. Datos de población y cobertura Región 6

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
1	1	98739	25188		1104	8330432	57,07%
2	98740	197477	7	Salamanca/El Pueblito/ San Juan Del Rio/Ciudad Valles/Fresnillo/Guadalupe/ Zacatecas	0	1041770	7,14%
3	197478	296215	0		0	0	0,00%
4	296216	394953	2	Celaya/Soledad De Graciano Sánchez	0	688335	4,72%
5	394954	493691	1	Irapuato	0	452090	3,10%
6	493692	592429	0		0	0	0,00%
7	592430	691167	0		0	0	0,00%
8	691168	789905	0		0	0	0,00%
9	789906	888643	3	Aguascalientes/ Santiago De Querétaro/ San Luis Potosí	0	2504623	17,16%
10	888644	987381	0		0	0	0,00%
11	987382	1086119	0		0	0	0,00%
12	1086120	1184857	0		0	0	0,00%
13	1184858	1283595	0		0	0	0,00%
14	1283596	1382333	0		0	0	0,00%
15	1382334	1579803	1	León	0	1579803	10,82%
<b>Total</b>			<b>25202</b>		<b>1104</b>	<b>14597053</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 7) Region 7

Tabla 49. Datos de población y cobertura Región 7

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
0							
1	1	90720	46290		5095	18619606	77,76%
2	90721	181439	9	Iguala/ Tuxtepec/Amozoc/ Tlaxcalancingo/Cholula/ Veracruz/Córdoba/Minatitlán/Orizaba	0	1039578	4,34%
3	181440	272158	4	Chilpancingo/Oaxaca/Coahuila de Zaragoza	0	905866	3,78%
4	272159	362877	1	Tehuacán	0	293825	1,23%
5	362878	453596	2	Xalapa/Veracruz	0	871386	3,64%
6	453597	544315	0		0	0	0,00%
7	544316	635034	0		0	0	0,00%
8	635035	725753	1	Acapulco	0	673479	2,81%
9	725754	816472	0		0	0	0,00%
10	816473	907191	0		0	0	0,00%
11	907192	997910	0		0	0	0,00%
12	997911	1088629	0		0	0	0,00%
13	1088630	1179348	0		0	0	0,00%
14	1179349	1270067	0		0	0	0,00%
15	1270068	1542232	1	Puebla	0	1542232	6,44%
<b>Total</b>			<b>46308</b>		<b>5095</b>	<b>23945972</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 8) Region 8

Tabla 50. Datos de población y cobertura Región 8

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
0							
1	1	57612	29809		2708	8675743	65,94%
2	57613	115223	3	Comitán/Cozumel/ Cárdenas	0	282273	2,15%
3	115224	172834	2	Chetumal/Kanasin	0	308781	2,35%
4	172835	230445	3	Ciudad Del Carmen/San Cristóbal De Las Casas/Tapachula	0	592297	4,50%
5	230446	288056	1	Campeche	0	249623	1,90%
6	288057	345667	1	Playa Del Carmen	0	304942	2,32%
7	345668	403278	1	Villahermosa	0	353577	2,69%
8	403279	460889	0		0	0	0,00%
9	460890	518500	0		0	0	0,00%
10	518501	576111	0		0	0	0,00%
11	576112	633722	1	Tuxtla Gutierrez	0	578830	4,40%
12	633723	691333	0		0	0	0,00%
13	691334	748944	0		0	0	0,00%
14	748945	806555	0		0	0	0,00%
15	806556	921771	2	Cancún/Mérida	0	1810568	13,76%
<b>Total</b>			<b>29823</b>		<b>2708</b>	<b>13156634</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 9) Region 9

Tabla 51. Datos de población y cobertura Región 9

No de clases	Población Inferior	Población Superior	Localidades	Nombre de localidades principales	Localidades Prioritarias	Total población	Cobertura
0							
1	1	122367	11574		413	12150750	39,17%
2	122368	244733	8	Cuajimalpa/Chalco /Chicoloapan/Naucalpan /Buenavista/San Pablo De Las Salinas/Cuautla/Jiutepec	0	1396616	4,50%
3	244734	367099	6	La Magdalena Contreras/Tláhuac/Pachuca De Soto/San Francisco Coacalco/Villa Nicolás Romero/Cuernavaca	0	1784120	5,75%
4	367100	489465	10	Azcapotzalco/Iztacalco/Xochimilco/Benito Juárez/Miguel Hidalgo/Venustiano Carranza/Ixtapaluca/Ojo De Agua/Toluca /Xico	0	4187243	13,50%
5	489466	611831	4	Tlalpan/Cuauhtémoc/Ciudad López Mateos/Cuautitlán Izcalli	0	2184237	7,04%
6	611832	734197	3	Coyoacán/Chimalhuacán/Chimalhuacán	0	1982538	6,39%
7	734198	856563	2	Álvaro Obregón/Naucalpan	0	1551214	5,00%
8	856564	978929	0		0	0	0,00%
9	978930	1101295	0		0	0	0,00%
10	1101296	1223661	2	Gustavo A. Madero/Ciudad Nezahualcóyotl	0	2290357	7,38%
11	1223662	1346027	0		0	0	0,00%
12	1346028	1468393	0		0	0	0,00%
13	1468394	1590759	0		0	0	0,00%
14	1590760	1713125	1	Ecatepec De Morelos	0	1655015	5,34%
15	1713126	1835486	1	Iztapalapa	0	1835486	5,92%
	<b>Total</b>		<b>11611</b>		<b>413</b>	<b>31017576</b>	<b>100,00%</b>

Fuente: Elaboración propia

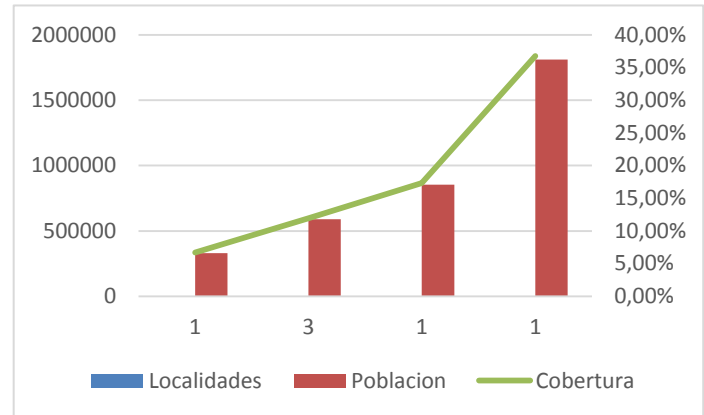
## D) Asignación de espectro por cobertura

**R1** *Tabla 52. Porcentaje cobertura localidades mayor población R1*

Cantidad			
De Localidades	Población	Cobertura	
1	330652	6,71%	
3	589120	11,95%	
1	854196	17,33%	
1	1810645	36,74%	
<b>6</b>	<b>3584613</b>	<b>72,74%</b>	

Fuente: Elaboración propia

*Figura 19. Cobertura localidades mayor población R1*

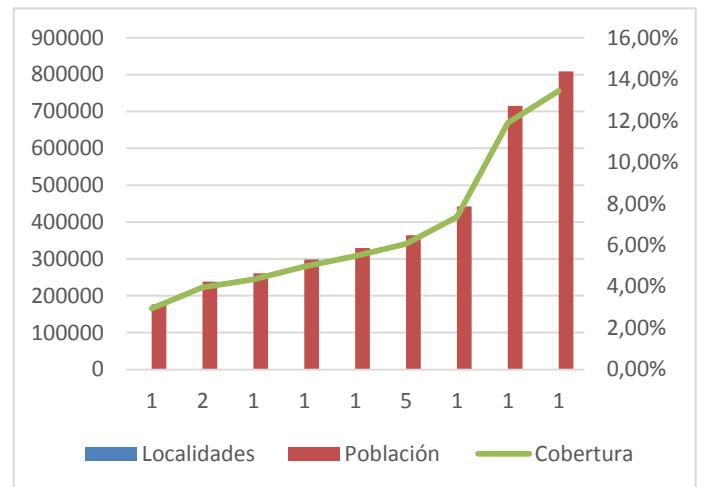


## **R2**

*Tabla 53. Porcentaje cobertura localidades mayor población R2*

Localidades	Población	Cobertura
1	176685	2,94%
2	238179	3,96%
1	261137	4,34%
1	298009	4,95%
1	329404	5,48%
5	363998	6,05%
1	441975	7,35%
1	715061	11,89%
1	808416	13,44%
<b>14</b>	<b>3632864</b>	<b>60,39%</b>

*Figura 20. Cobertura localidades mayor población R2*

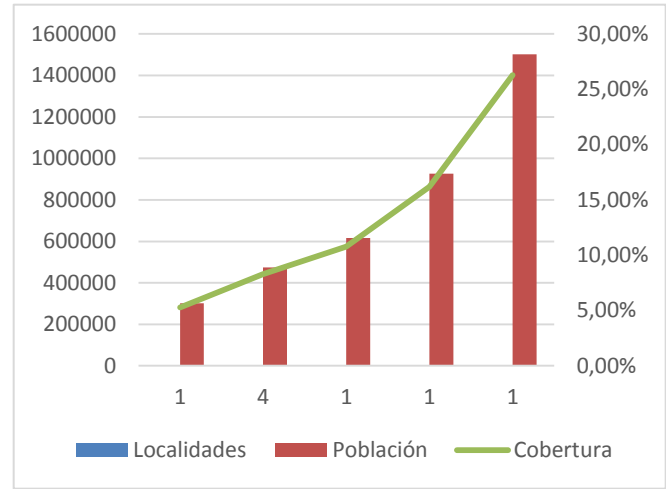


### R3

Tabla 54. Porcentaje cobertura localidades mayor población R3

Localidades	Población	Cobertura
1	301742	5,28%
4	474220	8,30%
1	616068	10,78%
1	925762	16,20%
1	1501551	26,27%
<b>8</b>	<b>3819343</b>	<b>66,81%</b>

Figura 21. Cobertura localidades mayor población R3

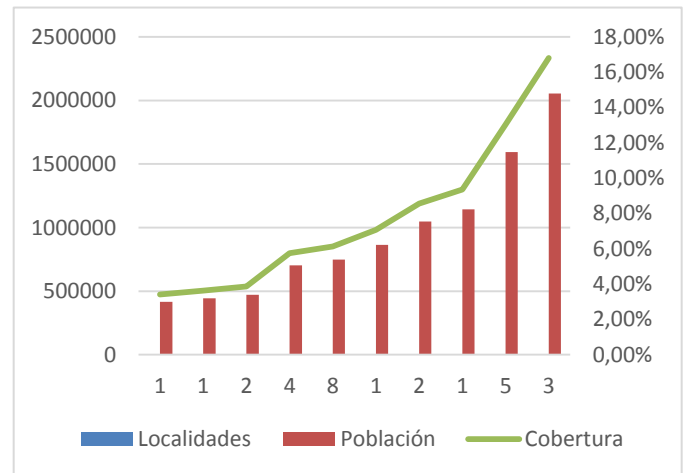


### R4

Tabla 55. Porcentaje cobertura localidades mayor población R4

Localidades	Población	Cobertura
1	416055	3,40%
1	443273	3,63%
2	471867	3,86%
4	701937	5,74%
8	748452	6,12%
1	864431	7,07%
2	1047175	8,56%
1	1142952	9,35%
5	1594254	13,04%
3	2055366	16,81%

Figura 22. Cobertura localidades mayor población R4



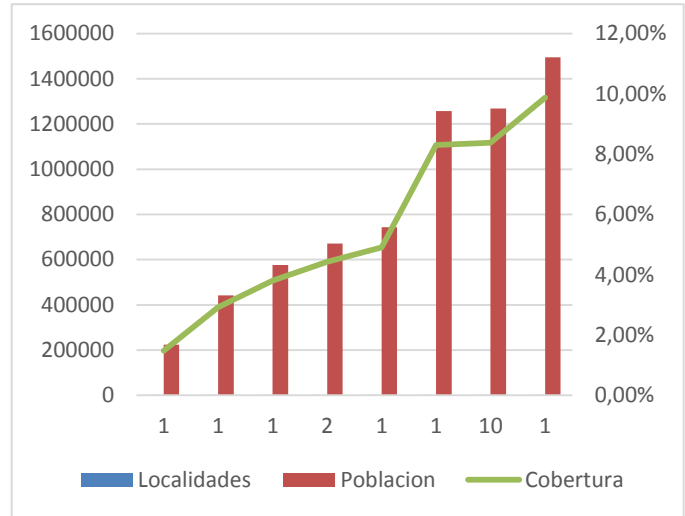
**R5**

<b>28</b>	<b>9485762</b>	<b>77,58%</b>
-----------	----------------	---------------

Tabla 56. Porcentaje cobertura localidades mayor población R5

Localidades	Población	Cobertura
1	224166	1,48%
1	442440	2,92%
1	575942	3,80%
2	670910	4,43%
1	743275	4,91%
1	1257547	8,31%
10	1267760	8,37%
1	1495182	9,88%
<b>18</b>	<b>6677222</b>	<b>44,11%</b>

Figura 23. Cobertura localidades mayor población R5

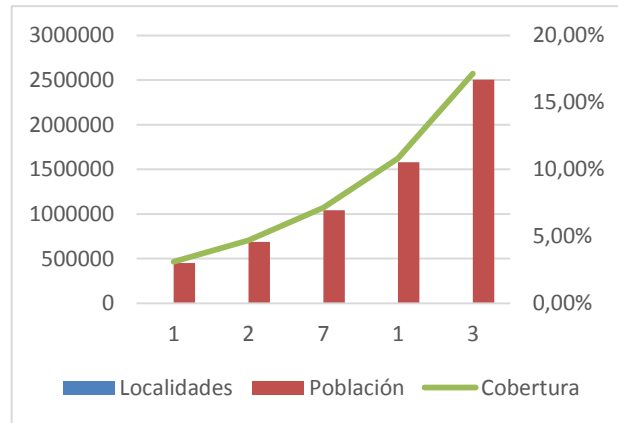


**R6**

Tabla 57. Porcentaje cobertura localidades mayor población R6

Localidades	Población	Cobertura
1	452090	3,10%
2	688335	4,72%
7	1041770	7,14%
1	1579803	10,82%
3	2504623	17,16%
<b>14</b>	<b>6266621</b>	<b>42,93%</b>

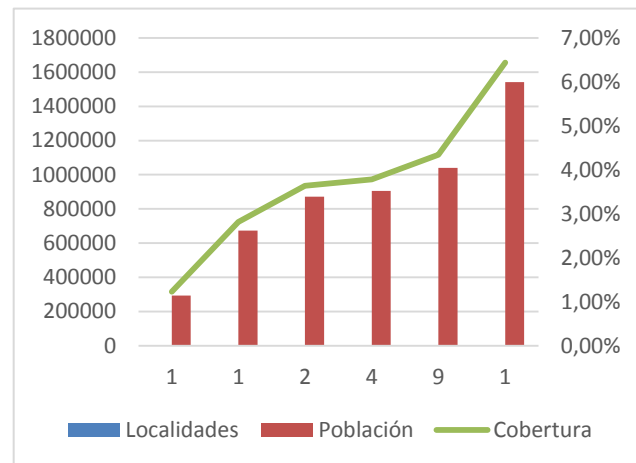
Figura 24. Cobertura localidades mayor población R6



**R7** *Tabla 58. Porcentaje cobertura localidades mayor población R7*

Localidades	Población	Cobertura
1	293825	1,23%
1	673479	2,81%
2	871386	3,64%
4	905866	3,78%
9	1039578	4,34%
1	1542232	6,44%
<b>18</b>	<b>5326366</b>	<b>22,24%</b>

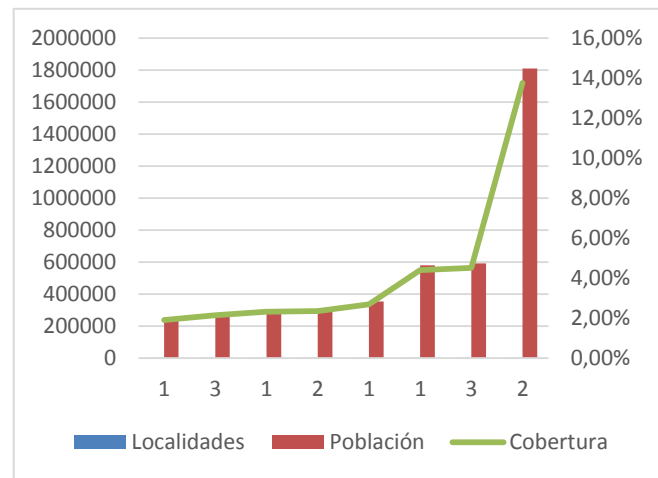
*Figura 25. Cobertura localidades mayor población R7*



**R8** *Tabla 59. Porcentaje cobertura localidades mayor población R8*

Localidades	Población	Cobertura
1	249623	1,90%
3	282273	2,15%
1	304942	2,32%
2	308781	2,35%
1	353577	2,69%
1	578830	4,40%
3	592297	4,50%
2	1810568	13,76%
<b>14</b>	<b>4480891</b>	<b>34,06%</b>

*Figura 26. Cobertura localidades mayor población R8*

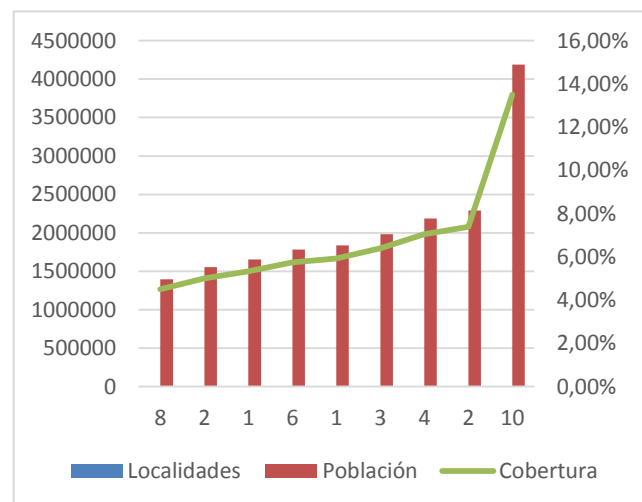


*Tabla 60. Porcentaje cobertura localidades mayor población R9*

**R9**

Localidades	Población	Cobertura
8	1396616	4,50%
2	1551214	5,00%
1	1655015	5,34%
6	1784120	5,75%
1	1835486	5,92%
3	1982538	6,39%
4	2184237	7,04%
2	2290357	7,38%
10	4187243	13,50%
<b>37</b>	<b>18866826</b>	<b>60,83%</b>

*Figura 27. Cobertura localidades mayor población R9*



## E) Simulaciones de subasta de aceptación diferida

Tabla 61.-Escenario uno para región 1

Región	Escenarios	No-Participante	Precios apertura	Años para despliegue	Precios ofertados	Localidades	Localidades Prioritarias	Puntaje Final
1	1	1	10-15	1	10	7397	23	100
1	1	2	10-15	2	11	7397	23	12,195122
1	1	3	10-15	3	12	7397	23	1.4872099
1	1	4	10-15	4	13	7397	23	0.18136707
1	1	5	10-15	5	14	7397	23	0.0211794
1	1	6	10-15	6	15	7397	23	0.002698731
1	1	7	10-15	7	10	7397	23	0.00032894
1	1	8	10-15	8	11	7397	23	0.00004011
1	1	9	10-15	9	12	7397	23	0,00000489203
1	1	10	10-15	10	13	7397	23	0,00000059658

Tabla 62. Escenario dos para región 5

Región	Escenarios	No-Participante	Precios apertura	Años para despliegue	Precios ofertados	Localidades	Localidades Prioritarias	Puntaje Final
1	2	1	10-15	1	10	24308	-	98,59
1	2	2	10-15	2	11	24308	-	12,02
1	2	3	10-15	3	12	24308	-	1,466
1	2	4	10-15	4	13	24308	-	0,178
1	2	5	10-15	5	14	24308	-	0,021
1	2	6	10-15	6	15	24308	-	0,002
1	2	7	10-15	7	10	24308	-	0,0003
1	2	8	10-15	8	11	24308	-	0,00003
1	2	9	10-15	9	12	24308	-	0,000004
1	2	10	10-15	10	13	24308	-	0,0000005

Tabla 63. Escenario tres para region 7

Región	Escenarios	No-Participante	Precios apertura	Años para despliegue	Precios ofertados	Localidades	Localidades Prioritarias	Puntaje Final
1	2	1	10-15	1	10	-	5095	14,311
1	2	2	10-15	2	11	-	5095	1,7453
1	2	3	10-15	3	12	-	5095	0,2128
1	2	4	10-15	4	13	-	5095	0,02595
1	2	5	10-15	5	14	-	5095	0,0031
1	2	6	10-15	6	15	-	5095	0,00038
1	2	7	10-15	7	10	-	5095	0,00047
1	2	8	10-15	8	11	-	5095	0,000005
1	2	9	10-15	9	12	-	5095	0,0000007
1	2	10	10-15	10	13	-	5095	0,00000008

## F) Fuentes

Tabla 64. Fuentes

Fuente	Liga de referencia
Código fuente en R	<a href="https://drive.google.com/file/d/1ksVWzAUYT-yb8UX0obaG7w87QAsR52xY/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1ksVWzAUYT-yb8UX0obaG7w87QAsR52xY/view?usp=sharing</a>
Base datos cobertura nacional	<a href="https://drive.google.com/file/d/1LtIOyhWDLlyVKIs8ZQpfV7Hjkr1U8Ug/view?usp=sharing">https://drive.google.com/file/d/1LtIOyhWDLlyVKIs8ZQpfV7Hjkr1U8Ug/view?usp=sharing</a>
Base de datos para corridas de proceso	<a href="https://docs.google.com/spreadsheets/d/1qw7pRZ482zRxEk-ECqpiNBFytdqBoWCb/edit?usp=sharing&amp;ouid=112189560922689561522&amp;rtpof=true&amp;sd=true">https://docs.google.com/spreadsheets/d/1qw7pRZ482zRxEk-ECqpiNBFytdqBoWCb/edit?usp=sharing&amp;ouid=112189560922689561522&amp;rtpof=true&amp;sd=true</a>