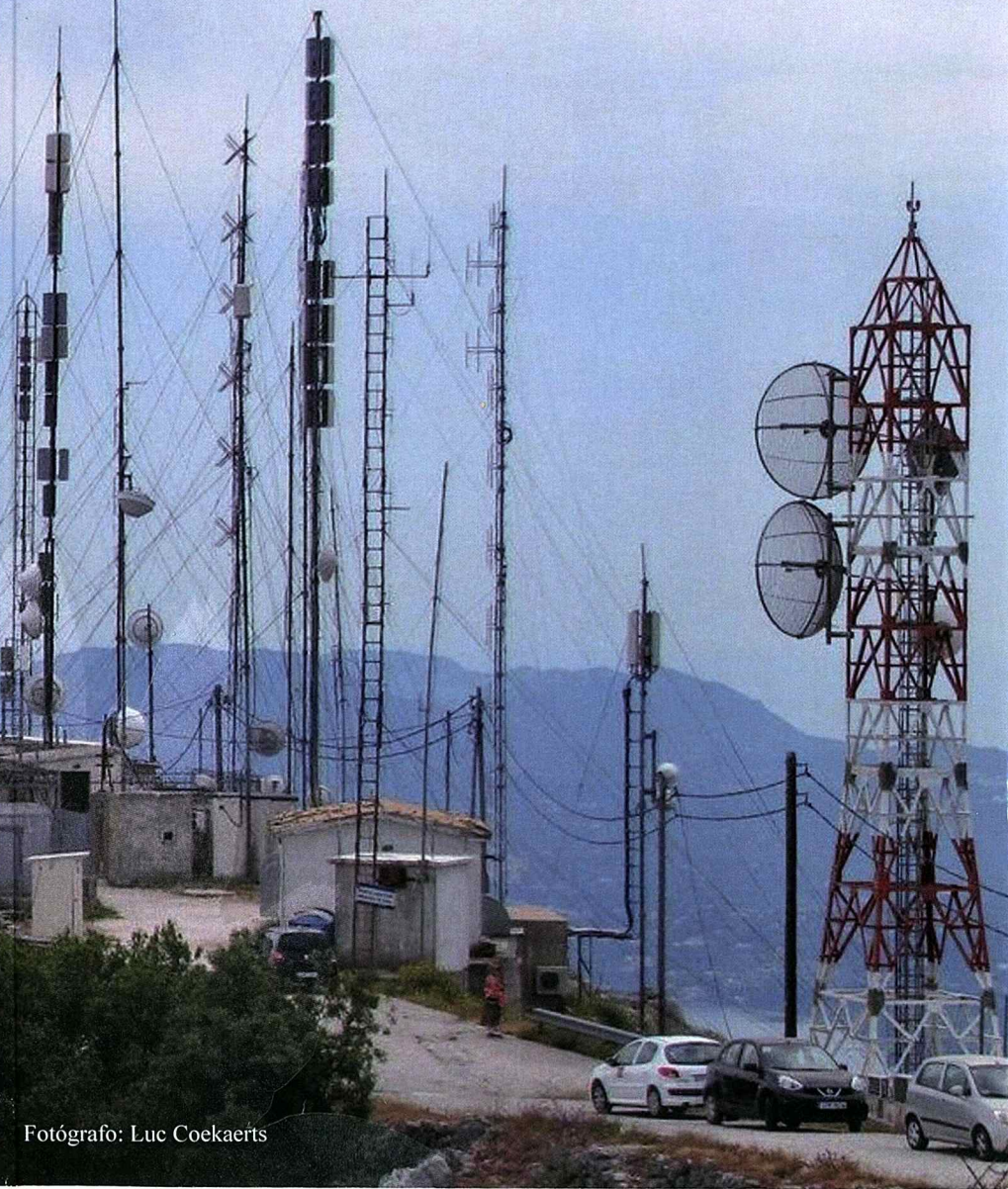
Patricia Hernández, Gonzalo Carro, Benigno Rodríguez
Federico Beltramelli y María Simon

ESPECTRO RADIOELÉCTRICO

SU GESTIÓN Y USO EN URUGUAY



Fotógrafo: Luc Coekaerts

ESPECTRO RADIOELÉCTRICO
SU GESTIÓN Y USO EN URUGUAY

Patricia Hernández[1], Gonzalo Carro[1], Benigno Rodríguez[1],
Federico Beltramelli[2] y María Simon[1]

12 de noviembre de 2019

[1]Facultad de Ingeniería, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.
[2]Facultad de Información y Comunicación, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

Impreso en los talleres gráficos de **Tradinco S.A.**
Minas 1377 - Tel. 2409 4463 - www.tradinco.com.uy
Noviembre, 2019. Depósito Legal Nº 376.871/19
Edición amparada en el decreto 218/996 (Comisión del papel). Montevideo, Uruguay

Agradecimientos

Los autores agradecen a todos aquellos que prestaron generosamente su tiempo para contribuir a elaboración de este libro. En especial queremos reconocer a Juan Pablo Garella y Andrés Gómez Caram por su participación en la etapa inicial del proyecto. Fueron varias las entrevistas realizadas a integrantes de la Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones (URSEC) y de la Dirección Nacional de Telecomunicaciones y Servicios de Comunicación Audiovisual (DINATEL), a los efectos de recabar la información necesaria para este trabajo.

Dedicatoria

A nuestras familias.

Prólogo

El espectro radioeléctrico es un recurso de gran importancia para un país, ya que a través de él se brindan una gran cantidad y variedad de servicios, lo que además tiene una tendencia de crecimiento sostenida. Es indiscutible el impacto que tienen los servicios de comunicaciones en el desarrollo de las naciones y es sabido que una parte importante de éstos se brinda de forma inalámbrica, haciendo uso del espectro radioeléctrico. Esto hace que el análisis de este recurso y su gestión sean de gran importancia para diversos actores de un país. Frecuentemente se observa el interés de actores no especializados en el área en formar parte de esta discusión, en opinar y defender el mejor uso de este recurso. Muchas veces la falta de comprensión de la naturaleza del espectro dificulta o impide el ejercicio de este derecho. Si bien existe mucha información especializada con respecto a la naturaleza, uso y gestión del espectro, falta información que busque explicar esto a los ciudadanos que deseen comprender mejor el tema y participar de la discusión. Este libro aborda ese desafío, utilizando un lenguaje accesible pero intentando no sacrificar la riqueza y complejidad del tema.

Esperamos que este trabajo pueda servir como una introducción a este tema para un público no especializado y que lo habilite a participar activamente de la discusión sobre el uso de este recurso nacional. Señalamos también que como material complementario a este libro el lector puede encontrar más información en el sitio web asociado al trabajo en el que se basa, Esopo (https://iie.fing.edu.uy/proyectos/esopo/). Esopo es un proyecto de fin de carrera de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Udelar), codirigido con la Facultad de Información y Comunicación.

Índice general

1. Espectro Radioeléctrico **17**

1.1. Un poco de Historia 18

1.2. Ondas Electromagnéticas 20

1.2.1. El Concepto de Onda 20

1.2.2. Crestas Valles y Amplitud de una Onda 22

1.2.3. Ancho de Banda 24

1.2.4. Onda Electromagnética 25

1.3. Espectro Electromagnético y el Espectro Radioeléctrico 27

1.4. Modulación y Conversión de Frecuencia 35

2. Gestión del Espectro Radioeléctrico en Uruguay **43**

2.1. Los Fundamentos de la Regulación Técnica 44

2.2. Actores 45

2.2.1. Unión Internacional de Telecomunicaciones 45

2.2.2. Comisión Interamericana de Telecomunicaciones 49

2.2.3. Mercado Común del Sur 50

2.2.4. Actores Nacionales 51

2.3. Conceptos Asociados a la Regulación del ERE 57

2.3.1. Términos Generales Estaciones Servicios y Sistemas Radioeléctricos 57
2.3.2. Interferencia 58
2.3.3. Adjudicación Atribución y Asignación 59
2.4. Particularidades en la Gestión del ERE 64
2.4.1. Eficiencia en la Gestión del ERE 64
2.4.2. Métodos de gestión de frecuencias 65
2.4.3. Comprobación Técnica y Monitoreo de Espectro 65
2.4.4. Bases de Datos 66
2.5. Marco Regulatorio Actual en Uruguay 66
2.6. Contexto Regional 77
2.6.1. Nuevos Retos en la Gestión del ERE 80

3. Uso Actual del ERE en Uruguay **83**
3.1. Atribuciones 83
3.1.1. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias 84
3.1.2. Atribución por Servicio 85
3.1.3. Diferencias con la Atribución de UIT 86
3.2. Adjudicaciones 89
3.3. Asignaciones 91
3.3.1. Uso de las Bandas VHF y UHF 92
3.3.2. La Dimensión Geográfica del ERE 98
3.3.3. La Dimensión Temporal del ERE 103
3.4. Estadísticas 104

4. Conclusiones **109**

A. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias en Uruguay **115**

Glosario **123**

Introducción

En este libro, en el Capítulo 1 se busca explicar a un público no especializado la naturaleza del Espectro Radioeléctrico (ERE), así como algunos de los principales conceptos que se encuentran ligados a este. Si bien se evitó usar vocabulario específico, porque podría dificultar la comprensión general, se prestó especial atención a conservar la calidad conceptual de lo que allí se trata, intentando brindar explicaciones sencillas y correctas de los temas abordados. En el Capítulo 2 se introducen los conceptos de gestión del ERE, mostrando su complejidad que abarca regulaciones internacionales, regionales y nacionales, elaboradas y actualizadas por distintos organismos. Luego en el Capítulo 3 se desarrolla el uso actual de este recurso en nuestro país. Finalmente en el Capítulo 4 se aportan algunas conclusiones obtenidas durante el desarrollo de este trabajo.

El gran aumento en el uso de las Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (TIC) en los últimos años y el constante avance de los servicios móviles, no solo en materia de telefonía celular sino también para ser aplicados en educación [1], seguridad, cultura, medicina y negocios entre otros, ha llevado a que la demanda sobre el ERE crezca de manera vertiginosa. Para el 2020 se estima que el 90 % de los accesos móviles en América Latina serán por tecnologías *3G* o *4G* [2].

No son pocas las aplicaciones que hoy en día necesitan contar con una porción de ERE para desarrollar sus capacidades y aprovecharlas al máximo, tanto en el sector público como en el sector privado. Entre las numerosas aplicaciones se pueden nombrar en Uruguay: Wi-Fi, Banda Ancha Móvil, Plan Ceibal[1], televisión para abonados y la televisión digital terrestre.

Muchos son los interesados en obtener una porción de este escaso recurso, lo que ha llevado a lo largo del tiempo a la necesidad de contar con una regulación

[1]Se considera que la implementación de este plan ha conseguido grandes logros en materia de acercar las TIC a los ciudadanos [3].

adecuada, que establezca normas para el acceso y el uso. La gestión del ERE concentra los esfuerzos de muchos para lograr su disponibilidad garantizando su uso adecuado y eficiente. De modo que es dable pensar que a mayor madurez en la gestión del ERE a nivel país y región, mayor será la disponibilidad del recurso y su velocidad para adaptarse a las nuevas tecnologías que hoy en día se introducen al mercado.

En los últimos 10 años ha sido claro que el grado de penetración de las TIC en un país o región contribuye positivamente en su desarrollo social y económico. En el Reporte Global de las Tecnologías de la Información 2015 del Foro Económico Mundial[2] se publica anualmente el indicador de disposición de red, en inglés *Networked Readiness Index* (NRI); este índice evalúa desde el año 2001 los factores, políticas e instituciones que permiten a un país aprovechar los beneficios de las TIC[3]. El reporte[4] publicado en abril del año 2015 confirma la elevada correlación entre la adopción de las TIC por parte de los gobiernos y la capacidad para generar un impacto económico y social favorable. Nuestro país ha mejorado sensiblemente su posición en la comparación internacional. En el año 2015 el NRI ubica a Uruguay en el puesto 46 del mundo, escalando 10 posiciones respecto a la medición del año 2014 y en el 2016 Uruguay se ubica en el puesto 43.

Thierry Geiger, economista principal del Foro Económico Mundial y coautor del informe opina que: "Aunque los teléfonos móviles se utilizan en todas partes del mundo, la revolución de las TIC no se llevará a cabo por voz o SMS. Sin un mejor acceso a Internet a precios accesibles, una gran parte de la población mundial seguirá viviendo en la pobreza digital y se perderá las enormes ventajas sociales y económicas que ofrecen las TIC".

En el desarrollo de las TIC juega un importante papel el ERE, por ser el recurso natural sobre el cual se desarrollan muchos de los servicios de telecomunicaciones que se brindan en la actualidad. A lo largo de este texto se introducirán los conceptos de Onda Electromagnética (OEM) y ERE, también se profundizará en la razón que lleva a todas las administraciones a buscar gestionar el ERE de la manera más eficiente posible. Se describirán los puntos claves para la gestión del ERE así como el contexto internacional que tiene dicha gestión, se detallarán y analizarán los actores involucrados y los mecanismos en Uruguay. Se estudiará la

[2]Institución internacional dedicada a mejorar el estado del mundo a través de la cooperación entre los sectores público y privado con un espíritu de ciudadanía mundial. Colabora con líderes empresariales, políticos, académicos y otros líderes de la sociedad para formular agendas mundiales, regionales y sectoriales.

[3]Esta evaluación se basa en la suma de 53 indicadores individuales agrupados en cuatro componentes principales: entorno, preparación, uso e impactos.

[4]http://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_IT_Report_2015.pdf.

situación nacional e internacional de nuestro país en esta temática y se hará un análisis breve y comparativo de la gestión del ERE en algunos países de América Latina.

Capítulo 1

Espectro Radioeléctrico

El concepto de ERE es fundamental en materia de comunicaciones inalámbricas. Se trata de un recurso intangible, por lo que su definición puede resultar un tanto compleja. El poder sintonizar una radio, comunicarse atravesando fronteras en segundos, responder un correo electrónico mediante nuestro teléfono inteligente (o *smartphone*), entre otras acciones, que muchos en el mundo actual consideran de rutina, necesitan del ERE para funcionar. El desarrollo tecnológico que actualmente nos rodea crece en base a este recurso que se puede calificar de finito, compartido y escaso.

No se puede hablar de ERE sin mencionar el concepto físico fundamental que existe detrás de él, el concepto de onda electromagnética (OEM). En este capítulo se describe brevemente el marco científico-histórico que llevó al descubrimiento de la onda electromagnética y sus aplicaciones, se detallan las características principales de dichas ondas para entender por qué las usamos para implementar comunicaciones inalámbricas. Se introducirán los conceptos de modulación y conversión de frecuencia, sus fundamentos y su importancia en las radiocomunicaciones.

1.1. Un poco de Historia

Electricidad y Magnetismo: Electromagnetismo

La electricidad y el magnetismo fueron dos conceptos que se desarrollaron independientemente uno del otro hasta comienzos del siglo XIX. El conocimiento científico de la relación entre electricidad y magnetismo dio lugar, inmediatamente, a aplicaciones tecnológicas importantes como la radio y la televisión, luego vinieron los teléfonos celulares (y los *smartphones*), entre otras aplicaciones y aún hoy se siguen descubriendo nuevas aplicaciones y nuevas tecnologías que revolucionan el mundo de las comunicaciones a distancia.

En 1820 el físico y químico danés Hans Christian Öersted descubre los primeros efectos de la acción magnética de las corrientes eléctricas. Öersted advirtió que una aguja imantada colocada en las proximidades de un conductor por el que circula una corriente eléctrica sufre desviaciones, hecho que de modo inmediato sugirió la existencia de interacción entre electricidad y magnetismo.

Poco tiempo después el físico francés André-Marie Ampère fue capaz de elaborar una amplia base teórica para explicar este nuevo fenómeno. Esta línea de trabajo le llevó a formular la Ley empírica del electromagnetismo, conocida como Ley de Ampère (1825), que describe matemáticamente la fuerza magnética existente entre dos conductores paralelos por los cuales circula corriente eléctrica.

Basándose en los experimentos de Öersted, el científico británico Michael Faraday en 1831 comprueba que un campo magnético que varía con el tiempo produce corrientes eléctricas y campos eléctricos; y el físico ruso Heinrich Lenz complementa la investigación de Faraday (1833).

A partir de los estudios previos, el físico británico James Clerk Maxwell buscaba una teoría que vinculara los fenómenos físicos descritos hasta ese momento. Curiosamente, Maxwell tenía el propósito de explicar los fenómenos eléctricos a partir de la mecánica; quería asentar la teoría de Faraday, que hablaba de conceptos tales como "líneas de fuerza", sobre la base de una teoría mecánica sobre una sustancia hipotética llamada éter, cuya existencia no se comprobó, aunque la palabra se usa de vez en cuando, como metáfora. Resultó que, contrariamente a lo que Maxwell esperaba, las leyes del electromagnetismo no se pueden reducir a las de la mecánica, y sus investigaciones dieron origen a una descripción de todos los fenómenos electromagnéticos mediante ecuaciones muy generales, que muestran, entre otras cosas, la interacción entre campo eléctrico y magnético. El propio

Maxwell no se dio cuenta de una de las consecuencias más espectaculares de su teoría, que era que predecía la propagación en el vacío. Fue G. F. Fitzgerald, dos años después de la muerte de Maxwell, que mostró esa conclusión [4].

La teoría de Maxwell sugirió entonces la posibilidad de generar ondas electromagnéticas en el laboratorio, hecho que corroboró Heinrich Hertz (físico alemán) en 1887, Hertz logró transmitir ondas electromagnéticas entre un oscilador (antena emisora) y un resonador (antena receptora), confirmando experimentalmente las teorías del físico James C. Maxwell. Con el descubrimiento de estas ondas que viajan en el espacio a la velocidad de la luz, se ideó la forma de producirlas y recibirlas a través de dispositivos que aprovecharan los fenómenos eléctricos que la física había descubierto.

La unificación del magnetismo y la electricidad origina la rama de la física que actualmente se conoce como electromagnetismo.

Onda electromagnética y comunicación a distancia

El matemático y físico ruso Alexander S. Popov, al reconocer la importancia del descubrimiento de Hertz en relación a las ondas electromagnéticas, comenzó de inmediato a estudiar métodos para la recepción de dichas ondas a larga distancia. Fue el primero que utilizó una antena receptora, por lo que se le considera su inventor.

Pero no fue hasta principios del siglo XX que el ingeniero eléctrico italiano Guillermo Marconi revolucionó el mundo de la comunicación a distancia. Marconi, basándose en el estudio de las ondas electromagnéticas por parte de Hertz y en el concepto de antena introducido por Popov, luego de varias experiencias logró con éxito enviar una señal entre Europa y América en 1901, lo que sería el origen de la telegrafía sin hilos [5].

Hasta ese momento los medios de comunicación dependían del tendido de un cable para funcionar, como es el caso del telégrafo y el teléfono. La radio (o telegrafía sin hilos) fue el primer invento que hizo posible la comunicación sin cables, esto dio lugar al uso de la radio como instrumento de comunicación por ejemplo entre barcos. En 1906 el canadiense Reginald Fessenden lleva adelante la primera emisión radiotelefónica que se realizó inalámbricamente[1].

A medida que creció el conocimiento sobre las ondas electromagnéticas, sus apli-

[1]Más información sobre la historia de las telecomunicaciones se puede encontrar en [6] y [7].

caciones fueron aumentando. Hoy en día son diversas las aplicaciones de estas ondas, por ejemplo en materia de televisión analógica y digital, radar, sistemas de navegación, aeronáutica, comunicaciones móviles y comunicación espacial, entre otras.

1.2. Ondas Electromagnéticas

El conocimiento que se tiene hoy en día del ERE es muy amplio y sus aplicaciones son cada vez más numerosas. Si bien las OEM son invisibles e imperceptibles, nos brindan una gran variedad de servicios en nuestra vida diaria. Actividades que se han vuelto cotidianas dependen de las OEM; la comunicación como la conocemos hoy se hizo parte de nuestras vidas e incluso necesaria para seguir el ritmo vertiginoso en el que vivimos.

En la edición 348 del 13 de abril de 1967, de la Enciclopedia Estudiantil [8] uno de los artículos es dedicado a las ondas electromagnéticas e inicia su redacción con el siguiente texto:

"Puedo ver a través de los cuerpos y dirigir mi mirada más allá de los obstáculos materiales... Puedo observar con toda claridad paisajes muy lejanos y distinguir objetos distantes a cualquier hora del día y de la noche y con cualquier tiempo... Puedo hablar y hacer que se vean simultáneamente personas situadas hasta a miles de kilómetros de distancia una de la otra..."

"¿Quién es el que así habla? ¿Un Dios? No, es el hombre. Parecen poderes mágicos, que los magos de las narraciones antiguas concedían a los héroes invencibles. Son, en cambio, conquistas del hombre moderno. Los 'magos' que las han realizado son los científicos. Y en particular, las causantes de tales 'Poderes mágicos' son las ondas electromagnéticas."

Para introducir el concepto de OEM se comienza por describir qué es una onda y sus principales características.

1.2.1. El Concepto de Onda

Formalmente una onda es una perturbación que se propaga, que transporta energía pero no transporta masa. Se pueden distinguir dos tipos básicos de ondas [9].

- *Ondas Mecánicas:* ondas que necesitan un medio material para propagarse; este medio puede ser gaseoso (aire), líquido (agua) o sólido (cuerdas, resortes, suelo, pared). Un ejemplo son las ondas producidas al dejar caer una piedra en el agua o al agitar una cuerda (Fig. 1.1).

- *Ondas Electromagnéticas:* A diferencia de las anteriores, son ondas que no necesitan un medio material para propagarse, pueden propagarse en el vacío y surgen de la interacción entre electricidad y magnetismo como se verá más adelante. Son ejemplos de ondas electromagnéticas las ondas de radio, de TV, microondas, radiación infrarroja, visible o ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

Figura 1.1: Onda mecánica propagándose en una cuerda.

Las ondas pueden ser transversales o longitudinales. En las primeras la excitación es perpendicular a la dirección de propagación de la onda mientras que en las segundas, la excitación es paralela a la dirección de propagación de la onda. En la Fig. 1.2 se observan ambos tipos de onda. Al perturbar una cuerda en dirección vertical se ve como se propaga una onda en dirección horizontal (onda transversal) y al perturbar un resorte en dirección horizontal, se puede ver el desplazamiento de la onda también horizontal (onda longitudinal).

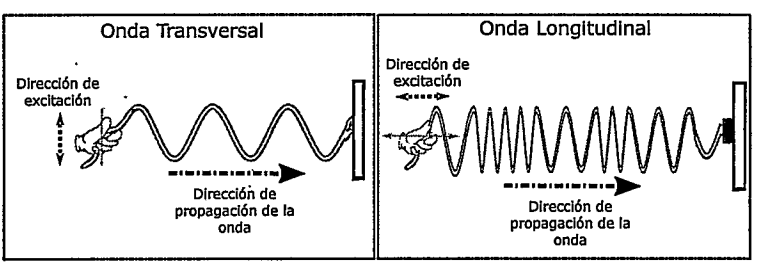


Figura 1.2: Onda longitudinal y onda transversal.

Cualquiera que sea el medio que transmite las ondas: aire, una cuerda tensa, un cable eléctrico o el vacío, todos los movimientos ondulatorios están regidos por

una ecuación denominada ecuación de onda. La parte matemática del problema consiste en resolver esta ecuación imponiendo las condiciones adecuadas al caso en estudio e interpretar su solución apropiadamente. A pesar de la diversidad de las ondas hay muchas características que son comunes a todas ellas.

A continuación se describen las características básicas de una onda particular y más adelante se aplicarán estas definiciones a las ondas objeto de esta sección, las OEM.

1.2.2. Crestas Valles y Amplitud de una Onda

Previo a la definición de estos conceptos se define la posición de equilibrio, que es aquella en la que no existe ningún tipo de oscilación (reposo). Por ejemplo, en una onda transversal las crestas indican el punto más alejado de la posición de equilibrio; suele representarse, por convención, como el punto que se dibuja en la parte de arriba de la onda. El valle también es el punto más alejado de la posición de equilibrio de una onda pero en el lado opuesto al lugar donde se ubican las crestas. Por lo visto entonces, una onda es una sucesión de crestas y valles como lo ilustra la Fig. 1.3.

La amplitud de una onda puede definirse como la distancia vertical entre una cresta y un valle. La amplitud es medida en forma perpendicular a la línea que representa la posición de equilibrio con respecto al medio, tal como lo indica la Fig. 1.3. La amplitud se mide en unidades de longitud, se utiliza el metro (m) cuando se trata de una onda mecánica, en las ondas acústicas se mide en pascales (Pa) o en decibelios (dB) y en las ondas electromagnéticas en voltios/metro (v/m).

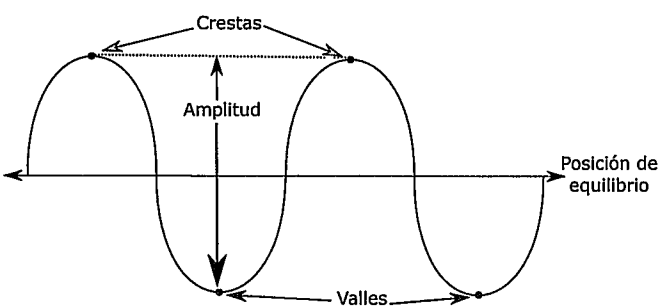


Figura 1.3: Crestas, valles y amplitud de una onda periódica.

La longitud de onda es la distancia mínima entre dos puntos de la onda que se encuentran en el mismo estado de vibración, esto ocurre por ejemplo, entre dos crestas consecutivas o dos valles sucesivos. La longitud de onda es representada por la letra griega λ (lambda) y es medida en metros (m).

La frecuencia se representa con la letra f y es el número de vibraciones que se producen en una unidad de tiempo. O sea cuántas crestas o valles se repiten en una unidad de tiempo. Si la unidad de tiempo es un segundo entonces la frecuencia se mide en Hertz (Hz).

En el caso indicado en la Fig. 1.4 la frecuencia es de 2 ciclos por segundo, esto es 2 Hz. Como se observa se pueden contar 2 crestas (o 2 valles) en un período de tiempo de un segundo.

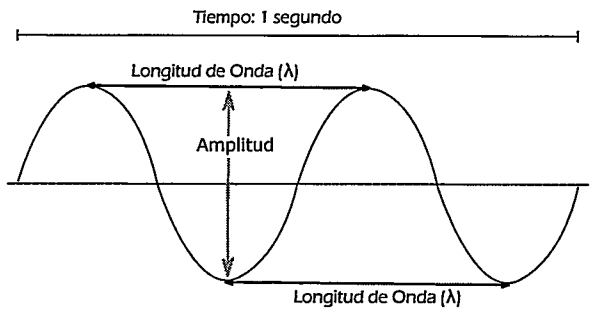


Figura 1.4: Longitud de onda y frecuencia en una onda periódica.

La longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) son dos parámetros inversamente proporcionales y relacionados mediante la velocidad de propagación. La velocidad de propagación es la velocidad con la que la onda viaja, se representa con la letra v. La ecuación que vincula estos tres parámetros es $v = f\lambda$.

Entonces, la frecuencia indica cuan rápidas son las oscilaciones o vibraciones de la onda, mientras que la velocidad de propagación es una medida de la velocidad a la que la onda se propaga en el medio. En la Fig. 1.5 se muestra un ejemplo de la relación entre longitud de onda y frecuencia.

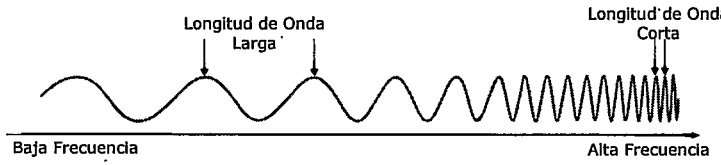


Figura 1.5: Relación entre longitud de onda y frecuencia.

Finalmente, el período de una onda es el inverso de la frecuencia, si la frecuencia es medida en Hertz (Hz) entonces, el período es medido en segundos (s).

1.2.3. Ancho de Banda

Una onda o señal de cualquier tipo suele estar compuesta por la suma de ondas de distinta frecuencia y usualmente dicha onda o señal es de amplitud variable. La Fig. 1.6, muestra un ejemplo de una onda compuesta.

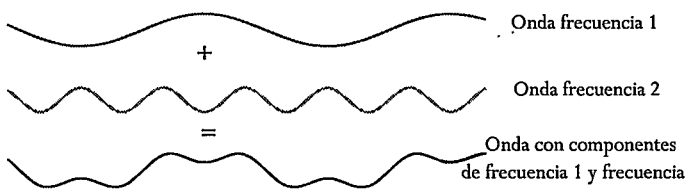


Figura 1.6: Forma de onda compuesta.

Dentro de una señal, de cualquier tipo (audio, vídeo, etc.), normalmente hay componentes de muchas frecuencias. Al rango de frecuencias donde se encuentra la señal se le llama ancho de banda de la señal.

Las señales pueden representarse en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia, al hablar de telecomunicaciones es usual utilizar la representación en frecuencia ya que proporciona información sobre el ancho de banda en el que esta contenida la señal, el cual será de interés a la hora de transmitir dicha señal.

Para cada señal se tiene una representación temporal que determina la amplitud de la señal para cada instante de tiempo y una función en el dominio de la frecuencia que especifica las frecuencias constitutivas de la señal, esta última representación

es llamada espectro de la señal. En la Fig. 1.7 se pueden observar ambas representaciones de una señal.

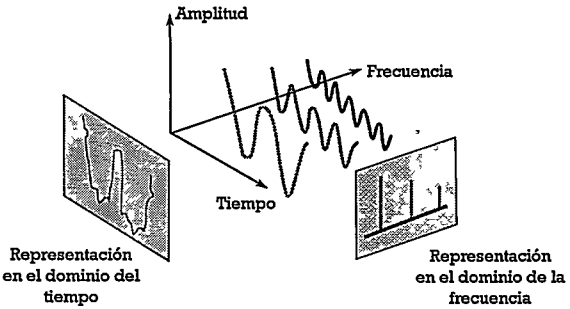


Figura 1.7: Representación de una señal en el tiempo y en la frecuencia[2].

Como se puede ver en la Fig. 1.7, la señal en frecuencia tiene tres componentes de frecuencias distintas. El análisis de las señales en frecuencia es amplio, con un profundo contenido matemático; no se pretende en este texto adentrase en la base teórica matemática detrás del estudio de señales en frecuencia.

Cabe aclarar aquí que el concepto de ancho de banda desarrollado anteriormente refiere al ancho de banda de una señal y no del ancho del canal de comunicaciones, este último puede definirse como el rango entre la frecuencia mínima y la frecuencia máxima que puede "pasar" por ese canal. El ancho de banda del canal debe ser tal que permita "pasar" sin afectar, todas las frecuencias componentes de la señal que se desea transmitir.

Se han visto los conceptos generales de las ondas, se centrará la atención a continuación en las OEM.

1.2.4. Onda Electromagnética

Como se dijo anteriormente una OEM puede propagarse en el vacío (a la velocidad de la luz: $c = 300000\ km/s$) sin necesidad de que exista un medio físico como el aire o el agua para el transporte de energía. Las OEM son tridimensionales (por el número de direcciones de propagación) y transversales. En la Fig. 1.8 se puede ver un esquema de una OEM.

[2]Imagen elaborada en base a: https://www.ijareeie.com/upload/june/25D_A%20Study.pdf.

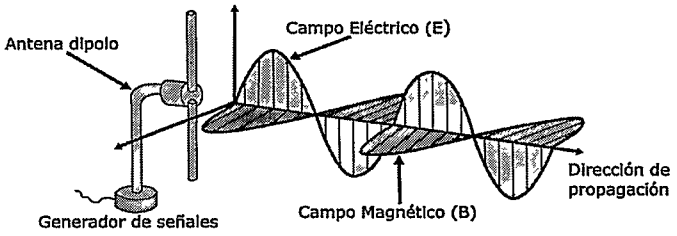


Figura 1.8: Onda electromagnética[3].

La idea principal es que si se hacen oscilar cargas eléctricas entre los extremos de una antena (conductor metálico), se generan un Campo Eléctrico (E) y Campo Magnético (B), que interactúan entre sí. Las OEM son el resultado de la interacción de estos dos campos.

Las OEM son una forma de transportar señales por un medio como ser el aire o por el vacío, de aquí su gran importancia. Se puede emitir una señal desde un transmisor (donde se genera la onda) enviarla hacia la antena transmisora, luego se propaga la onda generada por el espacio hacia una antena receptora, en la antena receptora se recibe la onda y se convierte en una señal eléctrica, enviándola hacia un receptor (donde se recupera la onda). Esta onda contiene información y una vez recibida por el receptor, se puede procesar esa señal y obtener la información que se envió [10].

Como sabemos, por el aire viajan muchas ondas, ¿cómo es que se diferencian? ¿Cómo es que, de todas las ondas que viajan por el aire la antena receptora distingue la OEM que contiene la información que nos interesa? Es aquí donde juega un papel importante una de las características de las ondas: su frecuencia; es esta la principal característica que permite distinguir las distintas OEM que viajan por el mismo medio.

En la siguiente sección se describe el ERE, que es el conjunto de todas las frecuencias posibles en las que se produce radiación electromagnética. Para llegar a esta definición hace falta conocer todos los conceptos mencionados anteriormente. La radiación se puede definir como energía que viaja en las ondas y se dispersa a lo largo de la distancia [11].

[3]Imagen elaborada en base a:
https://studylib.es/doc/4860658/tema-2.-ondas-electromagneticas.

1.3. Espectro Electromagnético y el Espectro Radioeléctrico

El espectro electromagnético se puede organizar según la frecuencia de las ondas que lo integran, o análogamente, de acuerdo con sus longitudes de onda. Hacia un extremo del espectro se agrupan las ondas de frecuencias más bajas y longitudes de onda más largas, como las correspondientes a frecuencias de sonidos que puede percibir el oído humano, mientras que en el otro extremo se agrupan las ondas más cortas y de mayor frecuencia en Hertz, como las pertenecientes a las radiaciones gamma y los rayos cósmicos. La diferencia existente entre un grupo de ondas y otras dentro del espectro electromagnético es su frecuencia en Hertz (Hz). Y dada la relación matemática con la longitud de onda, también se pueden diferenciar según su longitud en metros (m) [12].

El espectro electromagnético, como se indicó anteriormente, es el conjunto de todas las frecuencias posibles a las que se produce radiación electromagnética. El límite teórico inferior del espectro electromagnético es 0 Hz (ya que no existen frecuencias negativas) y el teórico superior es infinito. En los extremos la propagación es casi nula.

En la Fig. 1.9 se muestran las distintas regiones del espectro en escala logarítmica. En esta escala las ondas de radio y microondas ocupan un amplio espacio y si bien, así podemos ver todas las regiones del espectro, el tamaño relativo de las distintas regiones está muy distorsionado[4].

[4]La representación en escala logarítmica facilita la visualización de un rango tan amplio de frecuencias.

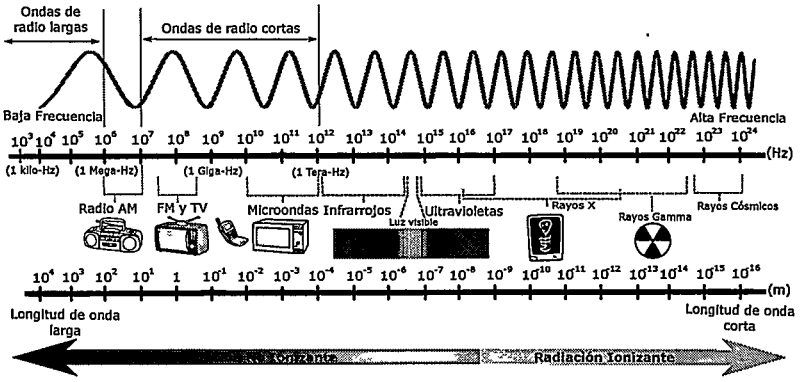


Figura 1.9: Espectro electromagnético[5].

Como se ha visto anteriormente, la longitud de onda (λ) y la frecuencia (f) se relacionan de forma inversamente proporcional, mientras una magnitud aumenta la otra disminuye, mediante la relación $c = f\lambda$ donde c es la velocidad de la luz, velocidad con la que se propaga una onda electromagnética. La Fig. 1.9 muestra la relación entre ambas a lo largo del espectro electromagnético. No todas las ondas electromagnéticas tienen el mismo comportamiento, por ello el espectro electromagnético se divide convencionalmente en segmentos o bandas de frecuencia. Existen una amplia variedad de aspectos a considerar para establecer las diferentes bandas del espectro y para utilizar las diferentes frecuencias para distintas aplicaciones. Entre los elementos a tener en cuenta se encuentran:

- *Atenuación con la frecuencia*: A menor frecuencia generalmente se tiene menor atenuación de la señal y por lo tanto mayor alcance.
- *Factores climatológicos:* Las diferentes frecuencias son afectadas de forma distinta por factores como la lluvia, niebla, calor, etc.
- *Comportamiento frente a obstáculos:* Mecanismos de propagación, por ej.: reflexión, difracción, refracción, dispersión, etc.
- *Comportamiento frente a las capas de la atmósfera:* Las distintas frecuencias no se comportan igual en la ionósfera o en la tropósfera e incluso hay

[5]Imagen elaborada en base a: http://blogs.hoy.es/ciencia-facil/wp-content/uploads/sites/63/2013/07/2.-Espectro-EM-simple.jpg.

ondas que se propagan por la superficie terrestre. Existen así diversos modos de propagación de las ondas.

El medio de transmisión influye en la propagación de las ondas electromagnéticas[6] mediante fenómenos físicos como reflexión, refracción, difracción, dispersión o absorción, entre otros [13]. Sus efectos dependen del medio (tipo de terreno, condiciones y capas de la atmósfera), así como de la frecuencia de la onda, entre otros factores. Por ejemplo, a partir de ciertas altas frecuencias las ondas pueden atravesar las capas de la atmósfera, dando lugar a comunicaciones con el espacio exterior empleando satélites espaciales para comunicaciones [14], [15].

El ERE es la parte del espectro electromagnético utilizada principalmente para radiocomunicaciones; dado que no todas las ondas electromagnéticas tienen las características necesarias para ser utilizadas en comunicaciones inalámbricas, solo las que se encuentran en el rango de frecuencias por debajo de 3000 GHz forman el denominado ERE[7].

Formalmente y según la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) el rango de frecuencias que comprende el ERE es de 0 Hz a 3000 GHz. El Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) de la UIT establece las llamadas bandas de frecuencia (Tabla 1.1)[8].

Núm. banda	*Símbolos (en inglés)*	*Nombre (en inglés)*	*Rango de frecuencias*	*Subdivisión métrica*	*Abrev. métricas*
4	VLF	Very low frecuency	3 a 30 kHz	Ondas Miriamétricas	B.Mam
5	LF	Low frequency	30 a 300 kHz	Ondas Kilométricas	B.km
6	MF	Medium frequency	300 a 3000 kHz	Ondas Hectométricas	B.hm
7	HF	High frequency	3 a 30 MHz	Ondas Decamétricas	B.dam
8	VHF	Very high frequency	30 a 300 MHz	Ondas Métricas	B.m

[6]http://ocw.upm.es/teoria-de-la-senal-y-comunicaciones-1/radiacion-y-propagacion/contenidos/apuntes/presentaciones/rdpr3.pdf.

[7]http://www.acta.es/medios/articulos/ciencias_y_tecnologia/062017.pdf.

[8]Artículo 2 - Sección I del RR.

Núm. banda	*Símbolos (en inglés)*	*Nombre (en inglés)*	*Rango de frecuencias*	*Subdivisión métrica*	*Abrev. métricas*
9	UHF	Ultra high frequency	300 a 3000 MHz	Ondas Decimétricas	B.dm
10	SHF	Super high frequency	3 a 30 GHz	Ondas Centimétricas	B.cm
11	EHF	Extremely high frequency	30 a 300 GHz	Ondas Milimétricas	B.mm
12			300 a 3000 GHz	Ondas Decimilimétricas	B.dmm

Tabla 1.1: Bandas de frecuencia[9].

El rango teórico de frecuencias está limitado en la práctica. Inferiormente por 9 kHz, frecuencias que tienen baja capacidad para transportar información y en ellas se producen interferencias considerables, por lo que no se suelen emplear. Por otra parte las frecuencias más altas del ERE están "poco exploradas", esto es, la tecnología comercial disponible en la actualidad no es capaz de utilizar de forma efectiva dichas frecuencias. Por tanto, en la práctica, el ERE se reduce a un recurso que comprende las frecuencias desde 9 kHz hasta 275 GHz. Existen frecuencias fuera de este rango regulado por UIT (por ejemplo, en infrarrojos y en el espectro visible, frecuencias del orden de centenas de THz) que se emplean también para telecomunicaciones.

Son muchas las consideraciones a tener en cuenta a la hora de determinar el conjunto de frecuencias aptas para determinado servicio de radiocomunicación. En la Fig. 1.10 se muestra como varían: la atenuación, la capacidad, la cobertura (alcance) y el coste de equipos con las diferentes bandas de frecuencia.

[9]En los rangos de frecuencia se encuentra excluido el límite inferior, pero incluido el límite superior.

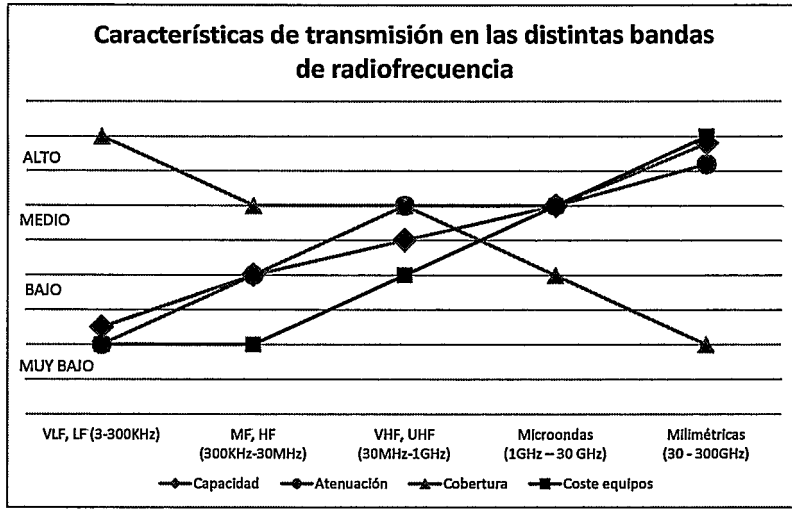


Figura 1.10: Características bandas de radiofrecuencia.

Observando la Fig. 1.10, se hace notorio que algunas bandas de frecuencia pueden ser más deseables o codiciadas que otras, para ser utilizadas por determinado tipo de servicio debido a sus características. A bajas frecuencias se tiene bajo coste en los equipos, mayor cobertura, baja atenuación pero baja capacidad para transmitir información. A altas frecuencias se tiene todo lo contrario.

Los mecanismos por los que se propaga una onda también dependen de la frecuencia de dicha onda entre otros factores, como las características eléctricas del terreno y de la atmósfera. Algunos de los mecanismos de propagación de una onda son:

- *Propagación tierra-ionósfera:* las ondas electromagnéticas se propagan dentro del espacio contenido entre la ionósfera y la superficie terrestre.
- *Ondas de superficie:* En este tipo de propagación, las ondas siguen el contorno de la superficie terrestre.
- *Propagación ionosférica:* las diferentes capas de la ionosfera desvían, mediante refracción a la onda electromagnética incidente, generalmente la señal es propagada nuevamente hacia la tierra.

- *Propagación con "línea de vista":* También denominada LOS (*line-of-sight*).
- *Propagación troposférica:* se basa en reflexiones ocasionadas por discontinuidades debidas a variaciones turbulentas de las constantes físicas de la troposfera o tropósfera (concretamente del índice de refracción).

La Fig. 1.11 muestra esquemáticamente los modos de propagación mencionados.

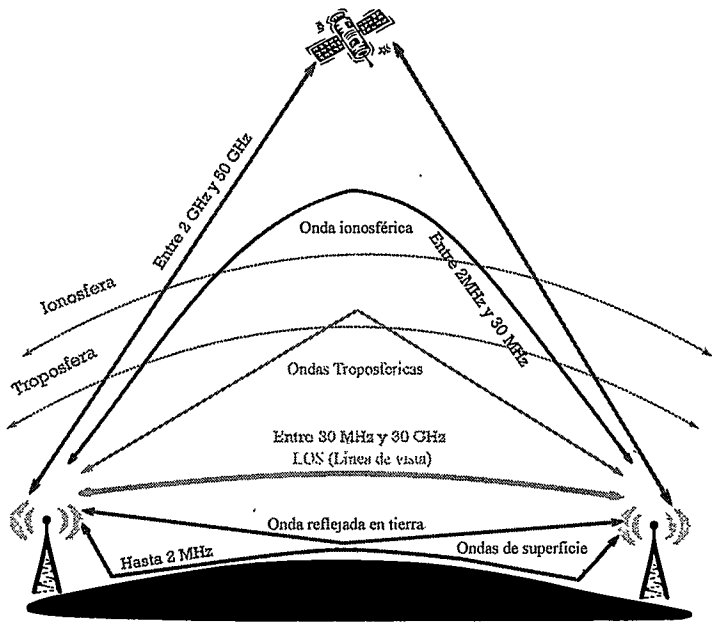


Figura 1.11: Mecanismos de propagación de una onda[10].

En la Tabla 1.2 se muestran las bandas de frecuencia, sus características de propagación y algunos de los servicios que generalmente trabajan en cada una de ellas [16].

[10]Fuente de la imagen: http://es.slideshare.net/nica2009/lecture-3-analisis-radioprop-p1.

Banda de Frecuencia	*Características de Propagación*	*Usos Típicos*
Frecuencia muy baja, en inglés *Very Low Frequency* (VLF)	Propagación por onda de superficie (terrestre) con baja atenuación día y noche. Dado el escaso ancho de banda en este rango, únicamente se emplean señales muy simples con muy poca transmisión de datos. La transmisión en esta banda es a velocidades muy bajas (no es posible transmitir señales de audio). Las ondas VLF pueden penetrar el agua a una profundidad de entre 10 y 40 m.	Enlaces de radio a gran distancia, navegación, comunicación submarina. También se puede utilizar para radiobalizas y para señales horarias. Por debajo de 9 kHz, las frecuencias no están reguladas internacionalmente, por lo que pueden ser utilizadas por algunos países como frecuencias sin licencia.
Baja frecuencia, en inglés *Low Frequency* (LF)	Sus características de propagación son similares a la banda VLF (poca atenuación, largas distancias, penetración en el agua, propagación por onda de superficie), aunque sus características son menos estables durante el día.	Sistemas de ayuda a la navegación marítima y aeronáutica (radio-faros o radio-balizas), señales horarias, servicios meteorológicos y sistemas de radiodifusión (radio AM). También se emplea para comunicaciones submarinas, servicios de radioaficionados y técnicas de etiquetado Identificación por radiofrecuencia, en inglés *Radio Frequency Identification* (RFID).
Frecuencia media, en inglés *Medium Frequency* (MF)	Se produce propagación por onda de superficie y la propagación por onda ionosférica prevalece en la noche, obteniéndose grandes distancias. Atenuación elevada durante el día y baja durante la noche.	Servicios marítimos y aeronáuticos. Sistemas de seguridad ante emergencias marítimas. Radiotelefonía y comunicaciones marítimas cercanas a la costa. También se emplea en servicios de radioaficionados en AM.

Banda de Frecuencia	*Características de Propagación*	*Usos Típicos*
Alta frecuencia, en inglés *High Frequency* (HF)	Propagación por onda ionosférica, aunque el alcance de la señal depende de muchos factores (entre ellos la hora del día y la estación del año).	Servicio de radioaficionados. Comunicaciones de media y larga distancia. Comunicación militar. Telefonía.
Frecuencia muy alta, en inglés *Very High Frequency* (VHF)	Las características de propagación en esta banda la hacen adecuada para comunicaciones terrestres de corta distancia (en general, la ionosfera no refleja las ondas VHF). Ocasionalmente propagación inosférica o Troposférica.	Radiodifusión FM. Sistemas de ayuda al aterrizaje. Radionavegación aérea y control de tráfico aéreo. Comunicación entre buques y control de tráfico marítimo (radar). Servicio de radioaficionados. Televisión analógica.
Frecuencia ultra alta, en inglés *Ultra High Frequency* (UHF)	Propagación por onda espacial troposférica en línea de visión. El tamaño de las longitudes de onda en UHF permite antenas muy adecuadas para dispositivos portátiles, lo que junto con las características de propagación hacen a esta banda ideal para servicios móviles. Posibilidad de enlaces por reflexión o a través de satélites artificiales.	Servicios de televisión digital terrestre (TDT). Televisión UHF. Servicios de telefonía móvil terrestre (GSM, UMTS, etc.). Tecnologías de redes inalámbricas como Wi-Fi (WLAN) o Bluetooth (WPAN).
Super alta frecuencia, en inglés *Super High Frequency* (SHF)	Propagación por onda de trayectoria óptica directa.	Radares. Enlaces ascendentes y descendentes de satélites. Radioenlaces del servicio fijo y algunas variantes de tecnologías inalámbricas como Wi-Fi 802.11n.

Banda de Frecuencia	*Características de Propagación*	*Usos Típicos*
Extremadamente alta frecuencia, en inglés *Extremely High Frequency* (EHF)	Esta banda es muy afectada por la atenuación atmosférica y las condiciones climatológicas.	Se utiliza principalmente en radioastronomía y comunicaciones con satélites (meterología, exploración de la Tierra, etc.). También se emplea en radiocomunicaciones de corto alcance.

Tabla 1.2: Características bandas de frecuencia.

Lo que se ha visto hasta aquí nos ha llevado desde el concepto de onda a la descripción del ERE y las principales características de las ondas electromagnéticas en las bandas convencionales de radiofrecuencia. Pero para transmitir una señal mediante ondas de radio no alcanza con tomar dicha señal, transformarla en una señal eléctrica y colocarla en una antena para su transmisión por el aire utilizando una porción del ERE, es necesario adaptar dicha señal para que pueda ser enviada, un proceso importante en la adaptación de la señal que contiene la información es llamado modulación. Para finalizar esta sección se verá que es modular y porque es necesario en materia de radiocomunicaciones. Para fijar conceptos se verá como ejemplo de modulación la conversión de frecuencia.

1.4. Modulación y Conversión de Frecuencia

La transmisión de información de cualquier tipo puede parecer simple pero es muy compleja teniendo en cuenta la diversidad de escenarios en los que puede ocurrir[11].

Se comienza por definir algunos términos que serán útiles para explicar estos conceptos. Cuando se habla de señal se refiere a señales eléctricas, aunque en su forma original pueden ser de otra naturaleza como por ejemplo acústicas, mecánicas u ópticas. La señales pueden convertirse a señales eléctricas mediante transductores adecuados. Un transductor es un dispositivo que convierte una forma de energía en otra. Por ejemplo, un micrófono convierte la energía acústica en eléctrica.

En la Fig. 1.12 se puede ver un esquema simplificado de un sistema de comunica-

[11] http://iaci.unq.edu.ar/materias/telecomunicaciones/apuntes.htm.

ción donde los tres elementos principales son el transmisor, el canal de comunicación y el receptor. Este esquema representa un tipo de comunicación unidireccional, si se desea un sistema bidireccional se deberá contar con las funciones de transmisor y receptor a ambos lados del canal[12].

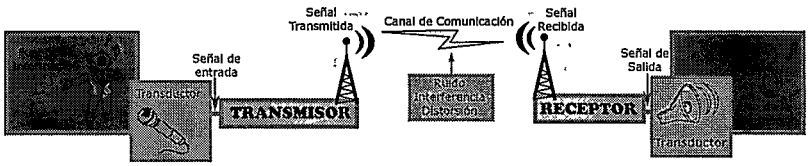


Figura 1.12: Esquema de un sistema de comunicación simplificado.

El transmisor es el encargado de tomar la señal de entrada y producir la señal a transmitir adecuando la señal de entrada al canal de comunicación; la mayoría de las veces dicha adecuación implica que el transmisor debe modular la señal. Luego de pasar por el canal de comunicación donde la señal es afectada de diversas formas (por ejemplo, se introduce interferencia que contamina la información que se quiere transmitir) llega al receptor. Las operaciones realizadas en el receptor pueden incluir filtrado, amplificación (para compensar la pérdida que experimentó la señal tras su pasaje por el canal), de-modulación y de-codificación; estos son procesos inversos a los que la señal experimentó en el transmisor.

Las señales pueden ser analógicas o digitales; una señal analógica es una cantidad física que varia con el tiempo de forma continua, por ejemplo, el sonido de la voz humana cuando alguien habla. Una señal digital es aquella que toma determinados valores discretos como por ejemplo la señal transmitida a la computadora al presionar una tecla en el teclado. Las señales analógicas pueden ser convertidas en señales digitales.

Una señal cuyo espectro de frecuencias se extiende desde aproximadamente cero hasta un valor finito positivo, se denomina "señal banda base". Las señales de banda base generalmente son las señales originales (banda original de frecuencias), que son las generadas por las diferentes fuentes de información (sonido, vídeo, etc.).

La modulación es una operación efectuada en el transmisor mediante un circuito llamado modulador. Hay dos razones principales por las cuales la modulación es necesaria en un sistema de comunicación; en primer lugar es muy difícil irradiar

[12]Información adicional sobre sistemas de comunicación en [17] y [18].

señales de baja frecuencia (como las señales banda base) en forma de energía electromagnética con una antena, y en segundo lugar, generalmente las señales que contienen la información a transmitir ocupan la misma banda de frecuencia, lo cual implica que, si se transmiten al mismo tiempo las señales de dos o más fuentes sin modular, se interferirían entre sí.

Por ejemplo, las estaciones de radio con modulación de frecuencia, en inglés *Frequency Modulation* (FM) emiten señales de voz que ocupan la banda de audio[13]; si todas transmiten en la misma frecuencia el receptor sería incapaz de determinar cuál es la señal individual a recibir, por lo tanto las señales deben ser separadas de alguna forma. En algunos casos se utiliza la técnica llamada conversión de frecuencia que se verá más adelante.

Si bien el propósito principal de modular en un sistema de comunicación es adaptar la señal a transmitir a las características del canal de transmisión, existen otras razones por las cuales la modulación es importante.

Por ejemplo, una parte de la teoría electromagnética, indica que la radio propagación con línea de vista es eficiente cuando la antena utilizada tiene una dimensión de al menos $1/10$ de la longitud de onda (λ) que tiene la señal a ser transmitida. Esto implica que, si se desea transmitir una señal de 300 Hz de frecuencia, o sea de 1000 km de longitud de onda[14], la antena a utilizar para lograr una transmisión eficiente es de unos 100 km de largo, lo cual indudablemente es impracticable [17].

En el proceso de modulación interviene una señal llamada "portadora", se dice que la señal que contiene la información a transmitir modula a la señal portadora cambiando una o más propiedades de la señal portadora. La señal que contiene la información a transmitir se denomina señal moduladora.

Existen diversas técnicas de modulación con una amplia base teórica que las hace adecuadas para diferentes aplicaciones y diferentes canales de comunicación. El canal influye fuertemente en la elección del tipo de modulación de un sistema de comunicaciones; además el canal afecta a la señal que se quiere transmitir con factores como atenuación, interferencia y ruido, entre otros. Se debe tener en cuenta que el tipo de modulación utilizada también puede variar el ancho de banda de la señal que se desea transmitir.

Las técnicas de modulación son muy complejas y sus principios teóricos quedan fuera del alcance de este texto. Para fijar conceptos, se explicará aquí solo el

[13]Frecuencias audibles que van desde 300 Hz a 15 kHz aproximadamente.

[14]La relación entre frecuencia y longitud de onda: $c = f\lambda$ con $c = 300000\ km/s$.

método de conversión de frecuencia, el cual como se ha mencionado es un tipo de modulación.

Pongamos nuevamente el caso de una estación de FM que usualmente transmite voz cuyo rango de frecuencias se encuentra entre 300 Hz y 15 kHz. Como se indicó, si transmitieran todas las estaciones de FM en esa banda se interferían impidiendo la correcta recepción de la señal. Por esta razón, cada estación convierte su información a una banda de frecuencia (o canal de frecuencia) distinta y así evitan interferencias, pudiendo viajar en el mismo espacio (aire).

Conversión de frecuencia

La conversión de frecuencia es el proceso mediante el cual la señal es trasladada a una frecuencia mayor para ser transmitida, con lo cual se logra, por ejemplo, la reducción en la longitud de la antena para facilitar su construcción (ya que disminuye la longitud de onda). En el caso de las estaciones de radio de FM, que operan alrededor de 100 MHz, necesitaríamos una antena de al menos $1/10$ de la longitud de onda de estas señales que será de $c = \lambda f \Rightarrow \lambda = 3\,m$. Por lo tanto se necesitaría una antena de al menos 30 cm para lograr una transmisión eficiente.

Una forma de modular es trasladar la estructura original de la señal a otro punto del espectro de frecuencias. Luego, para poder decodificar correctamente la señal, ésta debe ser colocada nuevamente en su posición original del espectro de frecuencias. Estos procesos se denominan conversión de frecuencia, en un caso conversión hacia arriba (o ascendente) y en el otro hacia abajo (o descendente). La Fig. 1.13 muestra en el eje de frecuencias una representación esquemática de ambos procesos.

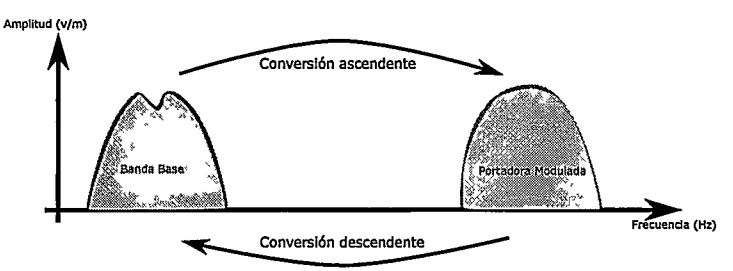


Figura 1.13: Conversión de frecuencia.

Básicamente se requiere una *señal portadora* (señal de alta frecuencia) y una *señal moduladora* (la señal banda base que proviene del transductor y contiene la información), la señal de salida del modulador generalmente se llama *señal modulada.* En la Fig. 1.14 se muestra un esquema de estas señales, donde f_1 es la frecuencia central de la señal banda base, f_2 es la frecuencia de la señal portadora y f_3 es la frecuencia central de la señal modulada.

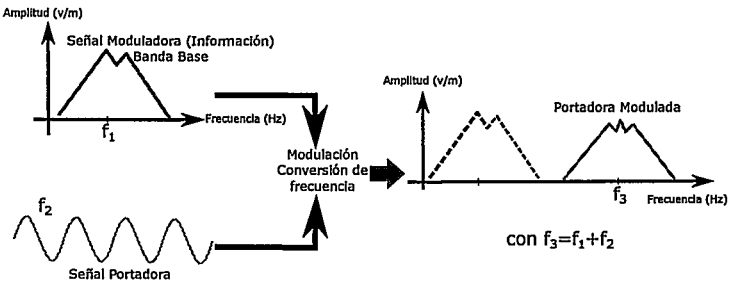


Figura 1.14: Esquema de modulación por conversión de frecuencia.

Para finalizar esta sección se quieren destacar algunos conceptos en los cuales no se profundizará pero son relevantes en materia de comunicaciones inalámbricas. Existe una rama científica encargada de estudiar todo lo relacionado con la información, como la capacidad de transmisión de información de los sistemas de comunicación, procesamiento y transmisión de señales, esta rama es la llamada *Teoría de la Información*[15]; no vamos a adentrarnos en ella dada su complejidad pero nombraremos aquí, de manera no rigurosa, algunos resultados que se desprenden de ella.

La capacidad de información de un sistema de comunicaciones es una medida de cuánta información de la fuente puede transportarse por el sistema en un período dado. La cantidad de información que puede propagarse a través de un sistema de transmisión es una función del ancho de banda del sistema y el tiempo de transmisión.

La información se mide en bits. Un símbolo (por ejemplo, un valor de voltaje) puede llevar más o menos que un bit. En general se identifican los bits por segundo (bit/s o bps) y los símbolos por segundo, porque se asume que los símbolos son dos, por ejemplo, 0 y 1 equiprobables. Esto podría no ser así, por ejemplo enviamos cuatro símbolos distintos y cada uno podría llevar dos bits, correspondientes a

[15]Presentada por Claude E. Shannon y Warren Weaver a finales de la década de los años 1940.

las combinaciones 00, 01, 11 y 10. De todas maneras, es claro que cuando se quiere transmitir más información (medida en bits) también necesitaremos transmitir más símbolos.

Cualquier tipo de información ya sea voz, datos, imágenes y vídeos tanto en formato analógico como digital, tienen una característica que las diferencia: la cantidad de información que conllevan por unidad de tiempo. Así, una señal de vídeo compuesta de imágenes es mucho más voluminosa en información que una señal de audio.

La cantidad de información a transmitir por segundo determina el número de bits por segundo (bit/s o bps) que es necesario transmitir, esto es, la velocidad de transmisión (v). Como se mencionó, puede no ser igual a la cantidad de símbolos por segundo, pero se relacionan estrechamente. La eficiencia de banda, en inglés *Bandwidth Efficiency* (BE) del sistema de transmisión, determina la cantidad de bps que se pueden transmitir por cada Hz de ancho del canal (bit/s/Hz). Por lo tanto, cuanto mayor es la cantidad de información a transmitir por segundo, dada una BE determinada, mayor cantidad de Hz (ancho de banda, BW) se necesitarán en el canal para la lograr la velocidad de transmisión necesaria (v (bit/s o bps) = BW (Hz o 1/s).BE (bit/s/Hz)). A modo de ejemplo, un canal telefónico básico (información de audio analógica) requiere algo menos de 4 kHz de ancho de banda, para ser transmitido con una calidad aceptable. En cambio, una señal de televisión analógica requiere un ancho de banda en torno a los 6 MHz, es decir, un canal de 1500 veces más capacidad. Esto se debe a que para la señal de televisión hay que transmitir una mayor cantidad de información por segundo (lo cual es claro ya que no solo hay sonido en ella, sino también imágenes).

Las dos limitaciones más importantes que tiene un sistema de comunicaciones son el ruido y el ancho de banda. Se denomina ruido a toda señal no deseada que se encuentra dentro de una transmisión y que interfiere con la señal real. La Teoría de la Información muestra un resultado muy importante: se demuestra que la capacidad de transmitir información de un canal depende del ruido y del ancho de banda. Esto resulta intuitivo. Por ejemplo, si tratamos de hablar en un ambiente ruidoso tenemos que hablar más fuerte (para hacer nuestra señal más intensa que el ruido) o repetir lo que dijimos (lo que es tiempo, que se relaciona con el ancho de banda). Adicionalmente, la Teoría de la Información da un resultado no tan intuitivo: si no hay ruido, aunque el ancho de banda sea limitado, la capacidad de trasmitir tiende a infinito. Y si pudiéramos disponer de un ancho de banda infinito, aunque hubiera ruido, también se podría transmitir una cantidad de información que tiende a infinito. En la práctica sabemos que disponemos de ancho de banda limitado, ya que es compartido. Por otra parte, no hay nunca ausencia de ruido

porque es inherente a la naturaleza física del universo. Los sistemas reales tratan de aprovechar lo mejor posible el ancho de banda, usando la mayor potencia permitida y algoritmos de protección de errores. A mayor ancho de banda más información se puede transmitir y a mayor velocidad, mayor es la vulnerabilidad frente al ruido.

La gran variedad de usos, la importancia del ERE como recurso económico, político y social para el desarrollo de los países y para la sociedad, sumados a la cantidad de agentes públicos y privados interesados en el uso de este recurso llevan a que la gestión del ERE requiera una atención particular. En la siguiente sección se detalla la gestión del ERE tanto en el ámbito internacional como nacional.

Capítulo 2

Gestión del Espectro Radioeléctrico en Uruguay

El ERE es, como ya se mencionó, un recurso natural de carácter limitado que constituye un bien de dominio público sobre el cual los estados ejercen su soberanía. Se puede indicar que la gestión del ERE integra un amplio conjunto de aspectos científicos, técnicos, jurídicos, económicos, políticos y administrativos que se combinan para garantizar que este recurso sea usado de manera eficiente y sin interferencias. La gestión del ERE es compleja desde el punto de vista técnico, económico y legal, basándose en un conjunto de conceptos específicos alrededor del ERE los cuales se abordarán en este capítulo.

El ERE es un bien cuya titularidad, gestión, planificación, administración y control corresponde al Estado, que es el que debe garantizar el mayor beneficio posible para los ciudadanos derivado del uso de ese bien público. Para ello, entre los fines que se persiguen en la gestión del ERE suelen citarse el garantizar su uso eficiente, promover su uso como factor de desarrollo económico, favorecer el desarrollo y la innovación, permitir a todos los ciudadanos el acceso a los servicios que hagan uso del ERE y permitir la planificación estratégica del sector de las telecomunicaciones. Los anteriores fines se pueden englobar en tres dimensiones de eficiencia que constituirán globalmente la definición de la "eficiencia" genérica en el uso del ERE: eficiencia técnica, eficiencia social y eficiencia económica.

Desde hace ya unos años se ha estudiado la incidencia de las TIC en el desarrollo socioeconómico de los países. Para poder tomar decisiones en materia de políticas que sean eficaces y realistas se dispone de indicadores comparables y de parámetros mensurables. Uno de ellos es el índice de desarrollo de las TIC,

que constituye una herramienta para comparar la sociedad de la información que puede resultar útil a gobiernos, proveedores de servicio y analistas del mercado. El Índice de Desarrollo de las TIC (IDT) es un índice compuesto que combina 11 indicadores[1]. En Uruguay, el desarrollo de las telecomunicaciones acompañó las tendencias mundiales, es así como en el año 2015 fue el país mejor clasificado de América Latina según el IDT[2].

En este capítulo se presentarán los fundamentos que llevan a gestionar y regular el ERE, se detallan los actores involucrados en la gestión del ERE tanto nacionales como internacionales y se describirán algunos conceptos básicos con el objetivo de ayudar a comprender mejor la problemática ligada a la utilización eficiente del ERE.

2.1. Los Fundamentos de la Regulación Técnica

El ERE es un recurso escaso y es además un bien preciado que se utiliza en servicios esenciales para la sociedad. Dependiendo de la clase de servicio que se quiera ofrecer se prefiere el uso de una banda determinada del ERE. Por tal motivo, pueden darse algunos conflictos a la hora de atribuir frecuencias a servicios en el ámbito de las conferencias internacionales y a la hora de asignar ERE en el plano nacional.

Debido a la multiplicidad de servicios que pueden prestarse por medio del ERE su organización y regulación resulta indispensable para permitir su desarrollo, sobre todo al tratarse de un bien intangible. Si a las OEM que conforman el ERE no se las canaliza adecuadamente, si no se ordena su tráfico, es posible (en sentido figurado) que estas choquen entre sí generando interferencias que afectan la calidad de todas las emisiones [19].

Como se ha señalado, las OEM se propagan en el espacio y no conocen las fronteras territoriales de cada país, por esta razón se crean organismos internacionales y regionales que intervienen en materia de ERE. El control y gestión del ERE se da principalmente por medio de tratados y acuerdos internacionales que fijan los lineamientos que habrán de adoptarse posteriormente al interior de cada país.

Básicamente, tras planificar el empleo que se da a cada banda de frecuencia, especificando el servicio que puede utilizarla y la tecnología que debe emplearse, se

[1] http://www.itu.int/en/ITU-D/Statistics/Documents/publications/mis2014/MIS_2014_Exec-sum-S.pdf.

[2] http://www.itu.int/net4/ITU-D/idi/2015/#idi2015byregion-tab.

concede el derecho de uso a determinados agentes mediante decisiones administrativas. Mediante este sistema se solventan los problemas que pudieran aparecer debido a interferencias, adicionalmente y dado que dicha planificación se hace a nivel mundial, se asegura en un gran porcentaje, la compatibilidad global de los sistemas de comunicación que genera importantes economías de escala en el mercado de dispositivos electrónicos.

2.2. Actores

Los organismos reguladores, asesores de estos organismos, responsables de la toma de decisiones, administradores y personal pueden organizarse de diversas formas. Dicha organización dependerá de la estructura institucional de cada país. Las funciones y los objetivos de los distintos organismos reguladores son los factores que determinan las diferencias en la organización. Se detallan a continuación los principales actores involucrados en la regulación de las telecomunicaciones a nivel internacional, regional y nacional.

2.2.1. Unión Internacional de Telecomunicaciones

La UIT[3] es el organismo especializado de las Naciones Unidas para las TIC. Actualmente tiene entre sus funciones la coordinación del ERE y de las órbitas de satélites a escala mundial, elabora normas técnicas que garantizan la interconexión[4] continua de las redes y las tecnologías y busca mejorar el acceso a las TIC de todas las comunidades a nivel mundial.

Comienzos de la UIT

En 1844 se realiza la primera comunicación telegráfica, entre las ciudades de Washington y Baltimore en los Estados Unidos. Unos diez años más tarde el telégrafo ya era un medio de comunicación popular en muchos países pero cada uno utilizaba un sistema telegráfico diferente. Cuando fue necesaria la comunicación entre países se descubren los problemas de incompatibilidad que generaba el uso de diferentes sistemas, por lo tanto se establecieron acuerdos para solucionarlos.

[3] http://www.itu.int.

[4] El campo de la interconexión de redes de telecomunicación es amplio e interdisciplinario, en él existen elementos económicos, regulatorios y técnicos que determinan la viabilidad del servicio.

Se fueron estableciendo acuerdos individuales que luego se transformaron en regionales y el rápido crecimiento de las redes telegráficas llevó a 20 estados a firmar el primer Convenio Telegráfico Internacional. En 1865 se funda la Unión Telegráfica Internacional en París, en 1934 adoptó su nombre actual (UIT) y en 1947 se convirtió en organismo especializado de las Naciones Unidas. Dentro de la UIT, se forma en 1956 el Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía (CCITT).

Actualmente son 193 los países miembros de UIT y más de 700 miembros de sector, entre ellos figuran organismos científicos e industriales, operadores públicos y privados, radiodifusores y organizaciones regionales e internacionales[5].

Estructura de la UIT

Desde 1993 la UIT cuenta con tres principales áreas de actividad[6], organizadas en oficinas sectoriales (comúnmente llamadas sectores) que desarrollan su labor a través de conferencias y reuniones, los sectores son:

- El sector de radiocomunicaciones de la UIT (UIT-R)
- El sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT (UIT-T)
- El sector de desarrollo de las telecomunicaciones de la UIT (UIT-D)

El UIT-R desempeña un papel fundamental en la gestión internacional del ERE y de las órbitas de los satélites. Coordina el vasto y creciente número de servicios de radiocomunicaciones. A través de su "Oficina de radiocomunicaciones", el sector hace de registro central del uso de las frecuencias internacionales. Así, pues, registra y mantiene actualizado el registro maestro internacional de frecuencias, en inglés *Master International Frequency Register* (MIFR)[7]. En el año 2014 el MIFR contenía 2.3 millones de asignaciones de frecuencias y se estima que se añaden aproximadamente 200000 asignaciones cada año[8].

[5]http://www.itu.int/en/history/Pages/ITUsHistory.aspx.

[6]http://www.itu.int/es/about/Pages/whatwedo.aspx.

[7]El MIFR es una base de datos que contiene las características del ERE ("asignaciones de frecuencias") de las estaciones de radiocomunicaciones en funcionamiento en todo el mundo y confiere a estas estaciones el reconocimiento internacional y la protección frente a las interferencias.

[8]https://www.itu.int/en/plenipotentiary/2014/newsroom/Documents/backgrounders/pp14-backgrounder-itu-r-managing-radio-frequency-es.pdf.

El UIT-T es lo que anteriormente se llamó CCITT, este sector se encarga de escribir las recomendaciones para el área de comunicaciones telefónicas y comunicación de datos. Las normas técnicas de la UIT (llamadas comúnmente recomendaciones) son fundamentales para el funcionamiento de las actuales redes de TIC. Cada año la UIT elabora o revisa un promedio de 150 normas.

El UIT-D se creó para contribuir a difundir el acceso equitativo, sostenible y con un costo razonable a las TIC, como medio para estimular un desarrollo social y económico más amplio. La Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones (CMDT), que se celebra cada cuatro años, define prioridades concretas para contribuir al logro de estos objetivos. A través de una serie de iniciativas regionales y de actividades a escala mundial.

La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones (CMR) es un acontecimiento fundamental para el cumplimiento de las principales responsabilidades de la UIT y es parte del UIT-R, que es el único sector de la Unión que elabora textos con carácter de tratado internacional. Otros organismos que pueden elaborar textos con carácter de tratado son la Conferencia de Plenipotenciarios, la Conferencia Mundial de Telecomunicaciones Internacionales (CMTI) y la Conferencias Regionales de Radiocomunicaciones (CRR).

La última CMR tuvo lugar en Ginebra (Suiza), del 2 al 27 de noviembre del año 2015[9]. Las CMR tienen lugar cada tres o cuatro años, la próxima CMR se realiza del 28 de octubre al 22 de noviembre del 2019 en Egipto. El mandato de las CMR es examinar y, cuando corresponda, revisar el RR, que es el tratado internacional por el que se rige la utilización del espectro de radiofrecuencias y de las órbitas de los satélites geoestacionarios y no geoestacionarios. Las revisiones se efectúan sobre la base de un orden del día fijado por el consejo de la UIT, que tiene en cuenta las recomendaciones formuladas por las CMR anteriores.

La Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2015 (CMR-15) examinó los resultados de los estudios relativos a las opciones para mejorar el marco reglamentario internacional del ERE sobre la base de la eficiencia, el carácter apropiado y los efectos del Reglamento de Radiocomunicaciones para la evolución de las aplicaciones, sistemas y tecnologías actuales, emergentes y futuras. También se tomaron decisiones acerca de la manera más beneficiosa y eficiente de explotar el limitado recurso del espectro de radiofrecuencias y de gestionar las órbitas de los satélites, factores que resultan esenciales y cada vez más valiosos para el desarrollo de la economía mundial en el Siglo XXI[10]. Entre los temas que

[9]http://www.itu.int/es/ITU-R/conferences/wrc/2015/Pages/default.aspx.

[10]Para más información sobre la CMR-15 consultar https://itunews.itu.int/Es/5853-Conferencia-Mundial-de-Radiocomunicaciones-2015.note.aspx.

se anotaron como pendientes para la agenda de la próxima CMR (CMR-19) se encuentra la asignación de ERE adicional para servicios Wi-Fi; nuevas bandas por encima de los 24 GHz para servicios móviles; y un marco regulatorio para el funcionamiento de llamadas "plataformas en movimiento" como drones o globos de conectividad[11].

Cabe aclarar aquí que la UIT no es un regulador a escala mundial en el sentido de que la regulación nacional del ERE la realiza cada país. El RR es el tratado internacional que gobierna la utilización del espectro de radiofrecuencias y de las órbitas de los satélites geoestacionarios y no geoestacionarios, cubriendo los aspectos legales y técnicos, es redactado y actualizado por los Estados Miembros de la UIT en el marco de cada CMR. Este reglamento también proporciona reglas para el mantenimiento de los registros de frecuencias y las órbitas de los satélites que utilizan los diferentes países.

El sector UIT-R en su recomendación *UIT-R SM.1047-2: Gestión Nacional del Espectro*, recomienda:

Que se utilice el Manual sobre Gestión nacional del espectro como guía para elaborar programas nacionales de gestión del espectro en los siguientes sectores:

- *Principios fundamentales de la gestión del espectro*
- *Planificación del espectro (planificación a corto plazo, planificación estratégica, planificación del uso del espectro, planificación del sistema de gestión del espectro, planificación de servicios o redes)*
- *Prácticas de ingeniería del espectro (coordinación, análisis técnico, reducción de la interferencia, etc.)*
- *Autorización de frecuencias (derechos de espectro, atribuciones, asignaciones, licencias, etc.)*
- *Utilización del espectro (incluida la eficacia de la utilización del espectro y la demanda de espectro)*
- *Control del espectro (inspección y control)*
- *Automatización de la gestión del espectro e integración con los sistemas de comprobación técnica del espectro*

[11]Un ejemplo de estas plataformas es el proyecto *Loon* de *Google* del que se puede consultar información en http://www.google.com/loon/.

- *Normas y autorización de equipos*

Uruguay es miembro de la UIT y como parte integrante de la estructura del país Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones (URSEC) trabaja y participa en las diferentes actividades de los sectores de este organismo, asesorando técnicamente en las áreas que son competencia de esta Unidad Reguladora.

2.2.2. Comisión Interamericana de Telecomunicaciones

La CITEL[12] es el organismo asesor de la Organización de los Estados Americanos (OEA) en asuntos relacionados con las telecomunicaciones reconocido por la UIT para la región 2 (Las Américas). Fue establecida por la Asamblea General de la OEA en el año 1994, con la misión de "Facilitar y promover el desarrollo integral y sostenible de las telecomunicaciones y las TIC interoperables, innovadoras y fiables en las Américas, basado en principios de universalidad, equidad y asequibilidad"[13].

Actualmente son miembros de CITEL los 35 países independientes de las Américas miembros de la OEA y tiene más de 100 miembros asociados provenientes de la industria de telecomunicaciones, Internet, medios electrónicos, entre otros.

Estructura

La CITEL está compuesta por

- Asamblea de la CITEL
- Comité Directivo Central (COM/CITEL)
- Comité Consultivo Permanente I (CCPI)
- Comité Consultivo Permanente II (CCPII)
- Secretaría de la CITEL

[12]https://www.citel.oas.org.

[13]Extraído del *Plan estratégico de la Comisión Interamericana de Telecomunicaciones (CITEL) para el período 2014 - 2018.*

La Asamblea de la CITEL tiene como fin servir de Foro Interamericano para que las más altas autoridades de telecomunicaciones de sus Estados Miembros intercambien opiniones y experiencias, fija las políticas para el cumplimiento de los objetivos establecidos en su estatuto, elige los miembros del COM/CITEL y establece los Comités Consultivos Permanentes, entre otras funciones[14]. Sus reuniones se celebran cada 4 años.

El COM/CITEL es el órgano directivo de la CITEL compuesto por representantes de 13 Estados Miembros. El CCPI es el comité asesor de la CITEL en todo lo relacionado a las telecomunicaciones y las TIC y el CCPII es el comité asesor de la CITEL en todo lo relacionado a las radiocomunicaciones incluyendo radiodifusión. Ambos reportan al COM/CITEL.

Actualmente Uruguay es miembro del COM/CITEL, electo como tal en febrero del año 2014[15]. En el ámbito del CCPI Uruguay posee la vicepresidencia del Grupo de Desarrollo y a nivel del CCPII preside el Grupo de Trabajo para la Preparación de la CITEL para las Conferencias Regionales y Mundiales de Radiocomunicaciones, adicionalmente es vicepresidente del CCPII. En CITEL así como en otros organismos internacionales el objetivo es alcanzar posiciones comunes en los diversos temas que se tratan, a fin de llevar la postura de la región a ámbitos de mayor alcance, como el que constituye la UIT. Asimismo, Uruguay a través de URSEC es quien ejerce la coordinación del Grupo de Desarrollo de Recursos Humanos de CITEL.

2.2.3. Mercado Común del Sur

El MERCOSUR[16] es un proceso de integración regional que desde sus orígenes tuvo como objetivo principal propiciar un espacio para acuerdos entre sus países miembros que diera lugar a oportunidades comerciales y de inversiones. Actualmente está integrado por Argentina, Brasil, Paraguay, Uruguay, Venezuela y Bolivia.

El Grupo Mercado Común (GMC) es uno de los tres órganos con capacidad decisoria que forman el MERCOSUR[17]. Sus normas se denominan resoluciones y son

[14]Para más información se puede consultar el Plan Estratégico CITEL 2014 - 2018 en https://www.citel.oas.org/es/Documents/Acerca-de-la-CITEL/PLAN%20ESTRATEGICO%20CITEL%202014-2018_e.pdf.

[15]Durante la VI Asamblea de CITEL celebrada en Santo Domingo, República Dominicana.

[16]http://www.mercosur.int/.

[17]Los otros son: Consejo del Mercado Común (CMC) y Comisión de Comercio (CCM).

de aplicación obligatoria en los países miembros. Dentro del GMC se desenvuelven los Sub-Grupos de Trabajo (SGT), organismos bajo su dependencia encargados de analizar y proponer decisiones sobre todas las cuestiones relacionadas con la integración, con excepción de los temas aduaneros y arancelarios que corresponden a la CCM. Hoy en día existen 17 SGT distintos. El SGT N° 1 se denomina *Comunicaciones* y se integra por 4 comisiones temáticas.

- Comisión Temática de Asuntos Postales (CTAP)
- Comisión Temática de Radiocomunicaciones (CTRc)
- Comisión Temática de Radiodifusión (CTRd)
- Comisión Temática de Servicios Públicos de Telecomunicaciones (CTSPT)

En todas las comisiones el objetivo es alcanzar un mercado común de telecomunicaciones y servicios postales, eliminando aspectos normativos que dificulten el proceso de integración entre los países. A nivel MERCOSUR las decisiones se toman por consenso y en el ámbito de las comisiones lo que surgen son recomendaciones al GMC, este órgano las transforma en resoluciones propias, las cuales luego de emitidas deben ser incorporadas en cada país. En el caso de Uruguay las recomendaciones se incorporan a través de decreto del Poder Ejecutivo (PE) en acuerdo con el ministro de tutela del sector, que en este caso es el Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM).

URSEC participa con técnicos especializados en las reuniones de las cuatro comisiones temáticas mencionadas, así como en las del SGT N° 1 proponiendo los cambios que se estiman oportunos para lograr los objetivos explicitados en la creación del MERCOSUR.

2.2.4. Actores Nacionales

La historia de Uruguay en materia de telecomunicaciones es determinante para entender el estado actual de la gestión del ERE en nuestro país, es por ello que se expone aquí una introducción histórica con los principales acontecimientos en materia institucional y política relacionados con las telecomunicaciones[18], para luego detallar la función de cada uno de los actores en la actualidad.

[18]Para más información consultar: [20] y [21].

Breve Historia de las Telecomunicaciones en Uruguay

Principios

El telégrafo se difundió en Uruguay de la mano del ferrocarril, era parte del equipamiento ferroviario para asegurar la conexión entre las estaciones que se encontraban a lo largo del trayecto. En 1887 el Estado intervino en la organización de los servicios telegráficos al apoyar la creación de la compañía del Telégrafo Nacional, se firmó un contrato con el gerente de una empresa británica, Francisco Ana Lanza para construir una cantidad determinada de redes. La actividad sería subsidiada por el Estado, pero administrada, dirigida e inspeccionada por Lanza [22]. En 1892, al caducar el contrato se encomendó la administración del Telégrafo Nacional a la Dirección General de Correos. En 1896 se crea la Dirección General de Correos y Telégrafos órgano del estado con competencias en materia de telecomunicaciones.

El otro novedoso medio de comunicación de la época fue introducido por empresarios privados a nuestro país, el teléfono. Con el creciente avance en materia de telegrafía y telefonía en 1915 se marca el comienzo de una segunda etapa en la historia de las telecomunicaciones por medio de la creación de lo que se denominó Administración General de Correos, Telégrafos y Teléfonos[19], esta administración tendría el monopolio estatal de las tres actividades, aunque se permitiría a las empresas privadas en actividad seguir funcionando[20].

En 1931 considerando la importancia y el altísimo valor estratégico de las telecomunicaciones para el desarrollo de nuestro país, la Asamblea General Legislativa establece por medio de la Ley N° 8.767 que la Administración General de las Usinas Eléctricas del Estado (UTE) se hará cargo del desarrollo de las comunicaciones telefónicas en Uruguay y ejercerá su monopolio[21], pasando a llamarse Administración General de las Usinas y Teléfonos del Estado.

Durante la dictadura militar (años 1973 a 1985)

Durante este período el gobierno Uruguayo toma una serie de decisiones que determinarían los cimientos del desarrollo de las telecomunicaciones en el país. En 1974 se crea Administración Nacional de Telecomunicaciones (ANTEL)[22], bajo

[19]Ley N° 5.356.

[20]Artículo publicado en la revista Transformación, Estado, Democracia, N° 48, Montevideo, ONSC, 2011; páginas 65 a 78.

[21]http://www.antel.com.uy/antel/institucional/nuestra-empresa/Resena-historica.

[22]Por Decreto de Ley N° 14.235 (Art. 20) del 25 de julio de 1974.

la forma jurídica de servicio público descentralizado, se quita la telefonía de las competencias de UTE, la cual vuelve a denominarse Administración nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas (UTE). Esto fue importante para el desarrollo de las telecomunicaciones, en ese momento el volumen de trabajo generado por lo relacionado con la energía eléctrica superaba ampliamente a las telecomunicaciones por lo tanto las tareas relacionadas con éstas podían sufrir retrasos.

La creación de ANTEL permitió que las telecomunicaciones siguieran su propio ritmo. Los cometidos de ANTEL incluían la prestación de servicios de telecomunicaciones urbanos y de larga distancia nacional e internacional, el control y administración de toda actividad relacionada a las telecomunicaciones y la administración, defensa y control del ERE nacional. Por lo que ANTEL en su creación, no sólo era una empresa pública prestadora de servicios de telecomunicaciones sino que también era un agente regulador de telecomunicaciones.

En 1984 se crea la Dirección Nacional de Comunicaciones (DNC)[23] que funcionaba bajo la órbita del Ministerio de Defensa Nacional. Entre los cometidos de la DNC figuraban asesorar al PE en lo referido a las políticas de telecomunicaciones, coordinar y ejecutar la política de comunicaciones, administrar y controlar el ERE, autorizar y controlar la instalación de nuevos servicios de comunicaciones, así como fijar precios y tarifas para dichos servicios. Se establecen normas sobre radiodifusión y comienzan a cambiar los cometidos de ANTEL.

Período 2000 - 2010

A partir del año 2000 en todo el mundo surgen de manera vertiginosa nuevas tecnologías para mejorar los servicios de telecomunicaciones. El uso masivo de estos servicios y su diversidad derivó en la necesidad de introducir nuevos actores en la gestión del ERE en nuestro país.

La Ley Nº 17.296 del año 2001 (Ley de presupuesto) introduce cambios en la regulación de las telecomunicaciones. En primer lugar, crea del Artículo Nº 70 en adelante la URSEC como un órgano desconcentrado[24] del PE que reporta directamente al Despacho Presidencial. Dicha Ley estableció que URSEC estaría integrada en parte por la totalidad de los funcionarios de la DNC, por lo que URSEC toma algunas de las funciones de lo que era hasta ese entonces DNC. Con la

[23]Ley Nº 14.670 del año 1977 (Decreto 734/78) y Decreto-Ley Nº 15.671 del año 1894.

[24]Forma de organización que pertenece a la administración pública para la más eficaz atención y eficiente despacho de los asuntos de su competencia. Los órganos desconcentrados no tienen personalidad jurídica ni patrimonio propio, jerárquicamente están subordinados a las dependencias de la administración pública a que pertenecen y sus facultades son específicas para resolver sobre la materia y ámbito territorial que se determine en cada caso por la ley.

reforma regulatoria de los servicios públicos, particularmente del sector telecomunicaciones, se redefinió el alcance del monopolio de ANTEL. Dicha redefinición implicó abrir sectores a la competencia (móviles, internacionales y datos mientras que la telefonía fija permanece como monopolio de ANTEL), en esta apertura se enmarcaron las llamadas subastas de derechos de uso de ERE donde Uruguay diseñó un proceso siguiendo lineamientos teóricos de la teoría de subastas y basado en la experiencia de otros países.

Las subastas de licencias para telefonía móvil representaron un gran desafío para la teoría de subastas a raíz de las particularidades del objeto a ser subastado [23]. La primera subasta organizada en nuestro país siguió el esquema básico desarrollado en las subastas de Estados Unidos de 1994 e incorporó las recomendaciones aprendidas de las experiencias de las subastas europeas del año 2000 [24].

La URSEC, además de brindar aportes al gobierno para la formulación e implementación de políticas de telecomunicaciones, autorizar el uso de frecuencias y realizar el control técnico del uso del ERE (funciones tomadas de la DNC), es encargada de organizar las subastas o procedimientos competitivos para asignar el uso de frecuencias. La primera subasta de ERE para telecomunicaciones móviles se llevo a cabo a fines del año 2002.

Durante el año 2003 se conforma un nuevo marco regulatorio de las telecomunicaciones conformado por el *Reglamento de Administración y Control del Espectro Radioeléctrico*[25] y el *Reglamento de Licencias de Telecomunicaciones*[26]. Dichos reglamentos están vigentes en la actualidad y se tratará sobre ellos en la Sección 2.5.

En el año 2005 se crea dentro del MIEM la unidad ejecutora Dirección Nacional de Telecomunicaciones[27] y se suprime totalmente la DNC, se determina que la URSEC se vinculará administrativamente con el PE a través del MIEM y actuará con autonomía técnica. La Dirección Nacional de Telecomunicaciones y Servicios de Comunicación Audiovisual (DINATEL) tiene entre sus funciones formular y coordinar políticas de Estado sobre telecomunicaciones.

La creación de la URSEC y de la DINATEL marcó el inicio de un gran cambio en lo referente a telecomunicaciones en Uruguay. A su vez varias leyes y decretos han sido de gran importancia para el desarrollo de las telecomunicaciones en Uruguay, por ejemplo, en el año 2007, todas las radios comunitarias se volvieron legales

[25]Decreto N° 114/003 en vigencia.

[26]Decreto N° 115/003 el cual está vigente con modificaciones correspondientes a los Decretos N° 83/013, N° 256/012, N° 414/010 y N° 85/009.

[27]Artículo 171 de la Ley de presupuesto nacional N° 17.930.

como resultado de la *Ley de Radiodifusión Comunitaria*[28], la cual divide a los medios de comunicación en tres categorías: comerciales, públicos y comunitarios y garantiza el acceso al ERE para todos ellos.

Período 2010 -2014

En el año 2010 con la Ley de presupuesto nacional período 2010 - 2014[29] se modifica la Ley de creación de la Dirección Nacional de Telecomunicaciones, creando en el ámbito del MIEM, el programa *Administración de la Política de Telecomunicaciones* y la unidad ejecutora DINATEL. Donde la Dirección Nacional de Telecomunicaciones cambia su nombre y sus competencias.

DINATEL en este nuevo período tiene entre sus funciones asesorar al PE en materia de formulación, instrumentación y fijación de la política nacional de telecomunicaciones. URSEC pasa a tener entre sus cometidos el de asesorar al PE y sus organismos competentes aportando insumos para la formulación, instrumentación y aplicación de la política de comunicaciones.

En el año 2014 se aprueba la Ley N° 19.307 que tiene por objeto establecer la regulación de la prestación de servicios de radio, televisión y otros servicios de comunicación audiovisual[30].

La nueva matriz tecnológica plantea nuevos retos en lo que refiere a regulación en materia de telecomunicaciones, se necesita de una política estratégica para utilizar de forma eficiente el recurso ERE. Las telecomunicaciones constituyen un área dinámica y relevante a nivel mundial, por lo que las políticas y sus actores involucrados están en constante evolución para adecuarse al contexto actual y que el país pueda acompañar la evolución tecnológica mundial.

Este recorrido breve por la historia de los actores involucrados en la gestión del ERE en nuestro país muestra como han ido variando y evolucionado en cuanto a sus funciones. En lo que sigue se expone un resumen de los actuales cometidos de los principales actores involucrados en esta gestión.

[28]Ley N° 18.232.
[29]Ley N° 18.719.
[30]https://medios.presidencia.gub.uy/legal/2019/decretos/06/cons_min_824.pdf.

Principales cometidos de los actores nacionales

Poder Ejecutivo

El PE tiene la competencia exclusiva en la fijación de la política nacional de telecomunicaciones y servicios de comunicación audiovisual, actuando a través del MIEM[31].

Dentro de sus principales competencias en materia de telecomunicaciones están la aprobación de convenios con entidades extranjeras, la autorización del funcionamiento de estaciones de radiodifusión de modulación de amplitud, en inglés Amplitude Modulation (AM), FM, televisión abierta y televisión para abonados (previo informe de DINATEL y URSEC) y la autorización de la asignación de frecuencias que realiza URSEC.

MIEM-DINATEL

DINATEL[32] tiene como misión formular, implementar, articular, coordinar y supervisar las políticas nacionales de telecomunicaciones y servicios de comunicación audiovisual, buscando universalizar el acceso a las TIC y contribuir al desarrollo del sector y del país[33].

Dentro de sus principales cometidos se encuentran: la realización de propuestas y el asesoramiento al PE en la fijación de la política nacional de telecomunicaciones y la planificación de la gestión del ERE. DINATEL asesora al PE en las políticas y criterios para el otorgamiento de licencias y autorizaciones de servicios de telecomunicaciones y comunicación audiovisual así como en la administración de los recursos utilizados para el despliegue de las TIC. Realiza el monitoreo de la situación del sector a nivel nacional e internacional.

URSEC

URSEC[34] tiene como misión la regulación y el control de las actividades referidas a las telecomunicaciones y las referidas a la admisión, procesamiento, transporte

[31]Las competencias completas del PE se encuentran redactadas en el Artículo Nº 147 de la Ley Nº 18.719.

[32]http://www.dinatel.gub.uy/.

[33]Las competencias completas de la DINATEL se encuentran redactadas en el Artículo Nº 418 de la Ley Nº 18.719.

[34]https://www.ursec.gub.uy/.

y distribución de correspondencia realizada por operadores postales[35].

Asesora al PE y a sus organismos competentes como DINATEL, aportando insumos para la formulación, instrumentación y aplicación de la política nacional de telecomunicaciones. Administra y controla el ERE nacional. Otorga autorizaciones para el uso de frecuencias del ERE nacional, así como para la instalación y operación de estaciones radioeléctricas excepto estaciones de radiodifusión (AM, FM y TV abierta) mediante resoluciones.

Controla la instalación y funcionamiento así como la calidad, regularidad y alcance de todos los servicios de telecomunicaciones realizando inspecciones. Supervisa las emisiones de radiodifusión y de televisión y controla que se cumplan normas técnicas y jurídicas establecidas. Formula las normas técnicas y fija reglas que aseguren la compatibilidad, interconexión e interoperabilidad de las redes. Como se mencionó anteriormente, participa activamente de las actividades vinculadas a los diferentes organismos internacionales.

Presenta por intermedio de DINATEL al PE para su aprobación, proyectos de reglamento y de pliego de bases y condiciones para la selección de las entidades autorizadas al uso de frecuencias radioeléctricas. Adicionalmente recibe y resuelve las denuncias y reclamos de los usuarios.

2.3. Conceptos Asociados a la Regulación del ERE

Como se mencionó anteriormente la UIT es una organización intergubernamental establecida por sus Estados Miembros. El Reglamento de Radiocomunicaciones (RR) forma parte de los reglamentos administrativos que complementan las disposiciones del convenio de la UIT, que rigen la utilización de las telecomunicaciones y vinculan a todos los miembros. En esta sección las definiciones y conceptos formales presentados son extraídos de dicho reglamento.

2.3.1. Términos Generales Estaciones Servicios y Sistemas Radioeléctricos

A nivel de UIT se define *administración* como "todo departamento o servicio gubernamental responsable del cumplimiento de las obligaciones derivadas del

[35]Las competencias completas de la URSEC se encuentran redactadas en el Artículo N° 145 de la Ley N° 18.719.

Convenio Internacional de Telecomunicaciones y sus Reglamentos"[36].

En el caso de Uruguay, la URSEC es la administración responsable de las telecomunicaciones a nivel de UIT, también figuran en el Directorio Global UIT[37] como organismos relacionados con la administración responsable de las telecomunicaciones, ANTEL y DINATEL.

El RR define, en su edición 2016, 42 servicios distintos[38]. En cuanto a estaciones y sistemas radioeléctricos, define 39 tipos de estaciones y 17 tipos de sistemas radioeléctricos[39].

Se puede comenzar a apreciar lo extenso, ordenado y meticuloso de este reglamento, lo cual es la base fundamental de la organización de las telecomunicaciones a nivel mundial.

2.3.2. Interferencia

Antes de continuar, es clave definir este concepto en el marco del compartimento de frecuencias entre administraciones y regiones.

Según UIT, *interferencia* es el "efecto de una energía no deseada debida a una o varias emisiones, radiaciones, inducciones o sus combinaciones sobre la recepción en un sistema de radiocomunicación, que se manifiesta como degradación de la calidad, falseamiento o pérdida de la información que se podría obtener en ausencia de esta energía no deseada."

Se reconocen tres tipos o grados de interferencia

- *Interferencia admisible:* Interferencia observada o prevista que satisface los criterios cuantitativos de interferencia y de compartición que figuran en el Reglamento de la UIT o en Recomendaciones (UIT-R) o en acuerdos especiales según lo previsto en el Reglamento de la UIT.

- *Interferencia aceptada:* Interferencia, de nivel más elevado que el definido como interferencia admisible, que ha sido acordada entre dos o más administraciones sin perjuicio para otras administraciones.

[36]Artículo 1 - Sección I del RR.
[37]http://www.itu.int/GlobalDirectory/search.html.
[38]Artículo 1 - Sección III del RR.
[39]Artículo 1 - Sección IV del RR.

- *Interferencia perjudicial:* Interferencia que compromete el funcionamiento de un servicio de radionavegación o de otros servicios de seguridad, o que degrada gravemente, interrumpe repetidamente o impide el funcionamiento de un servicio de radiocomunicación explotado de acuerdo con el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).

La gestión del ERE buscará siempre evitar las interferencias perjudiciales.

2.3.3. Adjudicación Atribución y Asignación

Estos tres términos pueden resultar familiares e incluso se puede pensar en que es indistinto usar uno u otro, pero no es así. Formalmente estos términos indican acciones totalmente diferentes, el RR en su *Artículo 1 - Sección II. Términos específicos relativos a la gestión de frecuencias* define estos tres términos.

Atribución

Según UIT [25] se define *Atribución (de una banda de frecuencias)* como "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."

El Cuadro de Atribución de bandas de frecuencia forma parte del Artículo 5 Sección IV del RR[40]. En él se define la repartición de las bandas de frecuencia en función de los diferentes servicios de radiocomunicaciones en las tres regiones definidas por UIT[41]. Uruguay pertenece a la región 2, como se puede ver en el mapa mostrado en la Fig. 2.1.

[40]En la edición 2016 del RR el cuadro comienza en la página 43 y se extiende hasta la 185.

[41]Es importante que no se confundan estas 3 regiones de radio, para efectos de atribución de frecuencias con las regiones administrativas, para efectos de representación política, éstas últimas son 5 identificadas con letras de la A a la E.

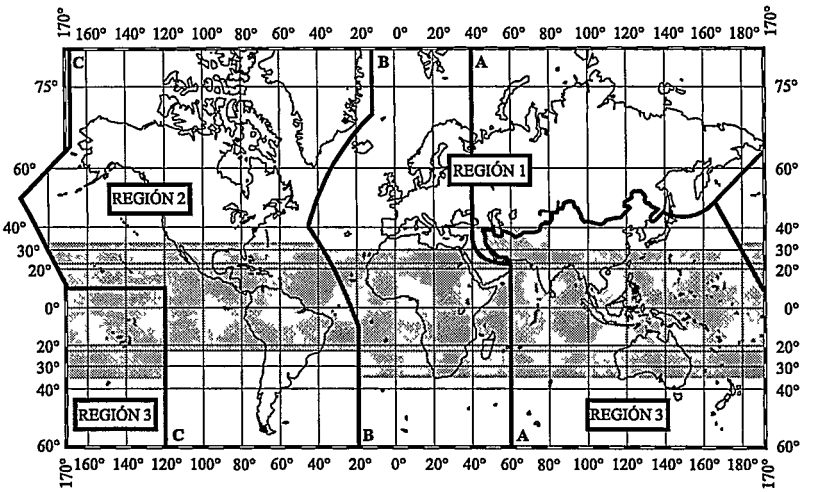


Figura 2.1: Regiones UIT[42].

Cuando en el cuadro una casilla correspondiente a una banda de frecuencia se atribuye a varios servicios, ya sea en todo el mundo o en una región, estos servicios se enumeran en el siguiente orden:

- *Servicios primarios* Su nombre aparece impreso en el cuadro en mayúsculas.
- *Servicios secundarios* Su nombre está impreso en el cuadro en minúsculas.

Según el RR, las estaciones de un servicio secundario:

- No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
- No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.

[42]Imagen extraída del Artículo 5, Sección I del RR.

- Tienen derecho a la protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones del mismo servicio o de otros servicios secundarios a las que se les asignen frecuencias posteriormente.

Existen otros tipos de atribuciones, por ejemplo, la *atribución adicional* que se agrega en una zona o en un país al servicio o a los servicios indicados en el Cuadro y *atribución sustitutiva* que reemplaza en una zona o en un país a la atribución que se indica en el Cuadro.

En ambos casos, si la nota del Cuadro no impone ninguna restricción al servicio o servicios en cuestión, excepto la obligación de funcionar en una zona o en un país determinado, las estaciones de este servicio o servicios funcionan sobre la base de igualdad de derechos con las estaciones del otro o de los otros servicios primarios indicados en el Cuadro. En caso de existir restricción, la misma se indica en la nota.

En la Fig. 2.2 se pueden observar los tipos de atribuciones mencionados en una porción del Cuadro de atribución de bandas de frecuencia.

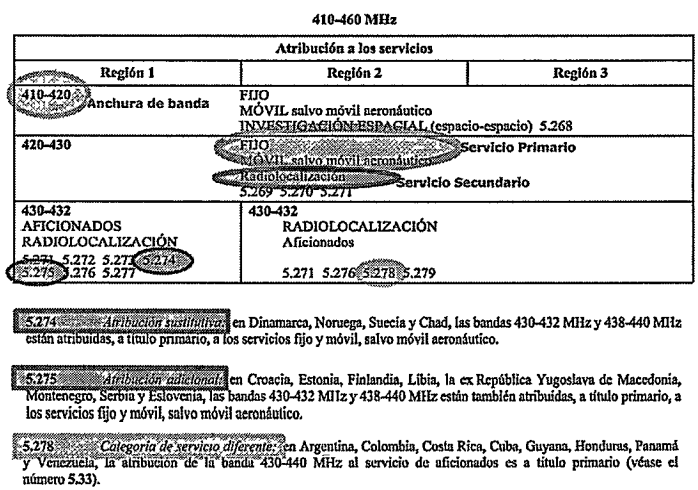


Figura 2.2: Porción del Cuadro de atribución de bandas de frecuencia[43].

[43]Imagen elaborada a partir del Artículo 5 del RR-2012.

Este cuadro es de aplicación internacional pues el RR se puede considerar un tratado internacional y si bien es aplicable en el ordenamiento nacional, cada país requiere de un cuadro nacional de frecuencias propio, en el cual indique la elección de los servicios para cada banda de frecuencia. En Uruguay la realización y actualización de dicho cuadro es competencia de URSEC.

Adjudicación

Las decisiones sobre el uso del ERE involucran procesos extensos en el tiempo y los interesados en participar de estas decisiones deben acordar planes elaborados con varios años de anticipación a su aplicación en los hechos. En áreas donde puede existir interferencia entre diferentes estados o países, se elaboran planes que establecen qué frecuencias o canales utiliza cada uno de los estados. En estos planes, que apuntan a gestionar la interferencia, es donde se realiza la adjudicación.

La UIT [25] define *Adjudicación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico)* como la "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."

A modo de ejemplo, Uruguay planifica el uso de frecuencias y canales de las estaciones generadoras y repetidoras de TV en la banda de VHF en sus fronteras con Argentina y Brasil en el marco del MERCOSUR. Las estaciones uruguayas de TV en la banda de VHF que se encuentran en territorio de coordinación con Argentina o con Brasil podrán utilizar solo ciertos canales en esa banda. En Fray Bentos por ejemplo, se pueden utilizar, en la banda de VHF, los canales 4, 6 y 12[44].

Asignación

Según UIT [25] se define *Asignación (de una frecuencia o de un canal radioeléctrico)* a la "Autorización que da una administración para que una estación radioeléctrica utilice una frecuencia o un canal radioeléctrico determinado en condiciones especificadas."

Esto implica que la asignación es realizada por la administración que corresponda

[44]Resolución del MERCOSUR Nº 6 año 1995.

en cada nación, donde se otorga a determinada estación radioeléctrica el permiso de uso de una frecuencia o de un canal radioeléctrico con determinadas condiciones técnicas establecidas. Utilizando el cuadro internacional de atribución de bandas de frecuencia como punto de partida y teniendo en cuenta acuerdos regionales e internacionales, la autoridad de gestión del espectro de frecuencias de cada país selecciona normalmente las frecuencias adecuadas a fin de asignarlas a las estaciones de un determinado servicio.

De las descripciones anteriores se desprende que, la asignación es un proceso que cada administración realiza de forma autónoma, las adjudicaciones se realizan en forma coordinada entre varias administraciones y las atribuciones se realizan según las recomendaciones del cuadro de atribuciones del RR, con carácter vinculante para los estados. La Tabla 2.1 muestra el dominio de aplicación de cada concepto.

Distribución de frecuencias entre	***Concepto***
Servicios	Atribución
Zonas o países	Adjudicación
Estaciones	Asignación

Tabla 2.1: Adjudicación, Atribución y Asignación.

Finalmente se redondean estos tres conceptos regulatorios con un ejemplo. En el cuadro de atribución de frecuencias de UIT, la banda de frecuencia de 76 MHz a 108 MHz se encuentra *atribuida* al servicio de radiodifusión como servicio primario, en el rango de frecuencia comprendido entre 76 MHz y 88 MHz se atribuyen además como servicios secundarios, el servicio móvil y el fijo. En Uruguay, dicha banda está *atribuida* al servicio de radiodifusión en carácter primario exclusivamente la banda de 76 MHz a 108 MHz[45]. En virtud de la Resolución Nº 31/2001, el canal FM 282 (frecuencia central 104.3 MHz) está *adjudicado* al servicio de radiodifusión FM en la ciudad de Montevideo (en coordinación con Argentina y Brasil). Finalmente para que una estación pueda operar en 104.3 MHz en Montevideo dicha frecuencia le debe ser *asignada* por parte de la administración a su titular.

[45]Plan conjunto MERCOSUR, uso de FM.

2.4. Particularidades en la Gestión del ERE

2.4.1. Eficiencia en la Gestión del ERE

Eficiencia económica: Se trata de garantizar el uso eficiente del ERE de forma que se cumplan los objetivos del país, incluidos los relativos al crecimiento económico. Por ejemplo, se supone que hay determinada cantidad de ERE para su uso exclusivo en dos sectores, comunicaciones móviles y radiodifusión comercial. ¿Cómo debería repartirse el ERE entre ambos usos? Dado que los usuarios obtienen beneficios de ambos servicios, la atribución de todo el espectro de frecuencias exclusivamente a uno de ellos crearía una escasez artificial de ERE. Es necesario, por tanto, llegar a algún tipo de compromiso que refleje el valor que para el usuario final tienen ambos servicios, el costo de proporcionarlos y la cantidad de ERE que requieren. Esto no es una tarea fácil y exige que los gestores del espectro tengan un alto nivel de conocimiento sobre la relación entre proporcionar un *MHz* adicional a un servicio y los beneficios económicos netos de hacerlo [26].

Eficiencia técnica: La elección de las frecuencias adecuadas para determinado servicio, puede considerarse como el factor principal en las decisiones de atribución del ERE. No obstante, la aplicación práctica puede hacer que entren en juego objetivos políticos relativos a la competencia. Se trata de maximizar la utilización del ERE evitando interferencias.

Como ejemplo se tiene la transmisión de televisión digital, es técnicamente más eficiente que la analógica, ¿esto significa que las transmisiones analógicas deben ser canceladas y sustituidas por digitales? Esto depende de otros factores como ser el costo del paso de analógico a digital, la escasez del espectro y el espectro que se libera. La eficiencia técnica no es un objetivo en sí mismo, sin embargo, al resultar el espectro cada vez más escaso, existen múltiples razones para perseguir la eficiencia técnica.

Objetivos políticos: También deben hacerse otras consideraciones de tipo social, político o de desarrollo, a través de las políticas los gobiernos impulsan el desarrollo del país. Las atribución, asignación y fijación de precios sobre el ERE se van modificando para ser consistentes con los objetivos políticos de los gobiernos, buscando un equilibrio entre consideraciones técnicas y económicas.

Se debe asegurar que el espectro es apto para nuevas tecnologías y servicios,

además de preservar la flexibilidad para adaptarse a los nuevos requerimientos de los usuarios de los servicios [26].

2.4.2. Métodos de gestión de frecuencias

Los reguladores históricamente han asignado frecuencias y concedido licencias a usuarios concretos para fines concretos, este es el llamado método administrativo. El enfoque administrativo incluye cierto nivel de restricciones sobre la utilización del ERE. Frecuentemente se especifican que tipo de equipos se pueden utilizar, dónde se pueden utilizar y con qué nivel de potencia. Es una buena forma de controlar la interferencia, aunque dichos métodos frecuentemente son lentos y no ofrecen respuesta rápida a nuevas tecnologías.

Otro método o modelo es el orientado al mercado en el cual tanto la propiedad como el uso del espectro pueden modificarse, la comercialización del espectro implica permitir el cambio de titularidad de las licencias otorgadas y requiere la especificación completa sobre qué derechos de propiedad del espectro pueden comercializarse y ser utilizados. Generalmente la comercialización del espectro implica mecanismos como ser las subastas o el intercambio.

Finalmente tenemos el llamado espectro común que es el espectro que permanece libre de un control centralizado y en el que los usuarios pueden transmitir sin licencia, pero cumpliendo reglas diseñadas para limitar o evitar la interferencia (bandas sin licencia). Un ejemplo de estas bandas son las industriales, científicas y médicas (ICM) sobre las cuales volveremos en la Sección 2.5.

Actualmente existe un nuevo enfoque en la gestión del ERE, el acceso dinámico al ERE, el cual representa un reto para los reguladores de cada país. Para los organismos encargados de la regulación del ERE el desafío es buscar una combinación eficiente de los modelos de gestión descritos.

2.4.3. Comprobación Técnica y Monitoreo de Espectro

La comprobación técnica viene a ser los ojos y los oídos del proceso de gestión del ERE. En la práctica es necesaria puesto que, en realidad, la autorización para uso del ERE no garantiza que éste se utilice como se ha previsto. La causa puede estar en la complejidad del equipo, en su interacción con otros equipos, anomalías funcionales o manipulación mal intencionada.

Entre los objetivos que se buscan en la comprobación técnica se encuentran resolver los problemas de interferencias, garantizar una calidad aceptable del servicio dado al público en general, generar los datos para el proceso de gestión del ERE de una administración en lo que concierne a la utilización real de frecuencias y bandas (por ejemplo, la ocupación de canales y la congestión de bandas), la verificación de las características técnicas y operativas correctas de las señales transmitidas (cumplimiento de las condiciones de otorgamiento de la licencia), la detección e identificación de transmisores ilegales y fuentes de interferencia potenciales [27].

2.4.4. Bases de Datos

Contar con una base de datos que permita almacenar, mantener y acceder a la información actualizada es esencial para una buena gestión del ERE. Esto permite a los organismos encargados de la gestión realizar las tareas más cotidianas como son las de asignación, aplicación de sanciones y la comprobación técnica, así como llevar a cabo análisis de ingeniería que permitan alcanzar la máxima eficacia en la gestión y el mejor aprovechamiento del recurso.

Sin unos registros exactos en la base de datos, la integridad del proceso de gestión del ERE puede verse comprometida. Por ejemplo, para realizar correctamente la comprobación técnica del ERE se debe contar con un medio para comprobar las asignaciones e identificar los usos no autorizados.

Cabe mencionar que contar con un software de gestión adaptado a las necesidades del regulador tiene una importancia relevante en la gestión eficaz del ERE.

2.5. Marco Regulatorio Actual en Uruguay

La diversidad y la cantidad de servicios de telecomunicaciones que existen en la actualidad hace que la gestión del ERE sea muy amplia y variada. En la Tabla 2.2 se muestran los principales servicios que utilizan el ERE en Uruguay.

Sector	*Servicio*
Telecomunicaciones	Telefonía móvil. Transmisión de datos. Internet.
Tele-difusión	TV terrestre (analógico/digital – TV abierta, TV cable). TV satelital (analógico/digital). Servicios auxiliares (tele-texto, tele-compra, etc.). Radio (analógico/digital).
Gobierno	Defensa (control, radares). Emergencias (policía, bomberos). Ciencia. Aplicaciones derivadas de compromisos internacionales (ayudas a la navegación, posicionamiento; medio ambiente).
Transporte	Transporte aéreo (control de tráfico, navegación). Transporte marítimo. Transporte terrestre. Transporte ferroviario y fluvial (localización).
Investigación y desarrollo	Observación de la Tierra. Radioastronomía

Tabla 2.2: Servicios que utilizan el ERE.

Dada esta amplia gama de servicios y sistemas de telecomunicaciones existentes, son muchos los procedimientos establecidos para la asignación de ERE en Uruguay. En esta sección se describen algunos de los reglamentos vigentes y los procesos asociados a ellos.

Reglamento de Administración y Control del ERE

El reglamento fue aprobado por Decreto N° 114/003[46] con el objetivo de realizar un uso eficiente del ERE asegurando el buen funcionamiento tanto de los servicios como de los sistemas de radiocomunicaciones. Se busca promover la igualdad en el acceso al ERE y contribuir a la planificación estratégica del sector telecomunicaciones en nuestro país.

[46]http://www.impo.com.uy/bases/decretos-reglamento/114-2003.

En este reglamento se indica que la administración y el control del ERE incluye, entre otras funciones, la elaboración y aprobación de los planes generales de utilización de este recurso. Esta función en nuestro país compete a URSEC, salvo en el caso de servicios de radiodifusión donde los planes son elaborados por URSEC pero elevados al PE para su aprobación.

Dentro de dichos planes se encuentra el llamado Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias (CNAF), el cual establece la atribución de frecuencias en Uruguay (bandas, sub-bandas y canales)[47] a los diferentes servicios de telecomunicaciones que emplean el ERE, así como las normas técnicas para su utilización.

La URSEC tiene entre sus funciones mantener actualizado el llamado Registro Nacional de Frecuencias el cual contiene información detallada sobre las asignaciones vigentes de frecuencias radioeléctricas. La información contenida en este registro es de acceso público salvo aquella que por razones de defensa nacional o protección de datos personales se clasifique como reservada[48].

Los interesados en el uso del ERE deberán realizar una solicitud formal a URSEC. Dependiendo del tipo de aplicación que planifican, necesitarán una autorización (o licencia) y la asignación de la o las frecuencias a utilizar acompañada de las condiciones técnicas en las cuales realizarán dicho uso.

Los posibles usos del ERE según este reglamento se detallan en la Tabla 2.3.

Tipo de Uso	*Autorización*	*Asignación*	*Características*
Uso libre	No	No	No podrán producir interferencias perjudiciales, ni solicitar protección frente a otras estaciones que correspondan a sistemas de radiocomunicaciones que operen dentro de los parámetros autorizados. Por ejemplo estaciones y sistemas de radiocomunicaciones de muy baja potencia de transmisión.

[47]La definición de atribución utilizada en este Decreto no coincide con la definición dada por la UIT en el sentido en el que en la definición de la UIT no esta referida a canales sino a bandas de frecuencia.

[48]Resolución URSEC Nº 102/2012.

Tipo de Uso	*Autorización*	*Asignación*	*Características*
Uso común	Si	No	Las autorizaciones se otorgarán por orden de presentación de solicitudes de uso ante URSEC. Por ejemplo frecuencias atribuidas a los servicios de radioaficionados y banda ciudadana y las frecuencias de socorro y seguridad de los servicios móvil marítimo y móvil aeronáutico.
Uso específico	Si	Si	Asociadas a priori a determinado servicio o sistema de radiocomunicación.
Uso general	Si	Si	No asociadas a priori a determinado servicio o sistema de radiocomunicación.

Tabla 2.3: Clasificación de usos del ERE.

La URSEC asigna bandas o canales de frecuencia en carácter exclusivo o compartido. Cuando la asignación es realizada en carácter compartido, dos o más usuarios comparten las mismas frecuencias, durante un período de tiempo determinado y en la misma zona geográfica, pudiendo existir interferencias perjudiciales con otros sistemas de radiocomunicaciones. En carácter exclusivo implica que un único usuario hará uso de la banda o canal, durante un período determinado y en determinada zona geográfica.

A la hora de realizar una asignación la URSEC verifica que el solicitante posea debida autorización de uso del ERE que ha solicitado. En caso de realizar la asignación ésta estará acompañada de todas las condiciones técnicas que rigen la operación de la o las estaciones de radiocomunicación o sistema de telecomunicación en cuestión. Cuando la asignación implica la prestación de servicios de telecomunicaciones a terceros o al público en general se requiere una licencia. Existen varias clases de licencias las cuales se detallan más adelante en esta sección.

Los servicios de radiodifusión terrestre y radiodifusión por satélite (sonora y de televisión) requieren autorización otorgada por el PE con asesoramiento de la URSEC. Las autorizaciones para el servicio de televisión para abonados son realizadas por URSEC. Las autorizaciones otorgadas se realizan en forma de resolucio-

nes.

En cada resolución donde la URSEC realice una asignación, se determina que cualquier modificación que se desee realizar en cuanto a ubicación del sistema, parámetros de operación, conformación del sistema radioeléctrico del que se trate, entre otras, debe ser autorizada por la URSEC. Dependiendo del tipo de sistema, se indican las normas técnico-administrativas bajo las cuales debe operar dicho sistema.

Cualquier instalación puede ser inspeccionada en cualquier oportunidad por parte de la URSEC, ya sea porque se recibió una denuncia de interferencia perjudicial o de una operativa no autorizada, o por una inspección de rutina de la URSEC. En caso de verificar irregularidades de cualquier tipo la URSEC puede proceder en el caso de interferencia perjudicial mediante intimación a la entidad responsable a que corrija su situación, en el caso de operativa no autorizada con la incautación provisoria de los equipos de telecomunicaciones involucrados, en caso de que luego de la incautación no se regularice la situación o no sea posible hacerlo, se puede realizar el decomiso definitivo del equipo, el cual luego de estar en poder de URSEC, generalmente es donado a otros organismos públicos.

Las autorizaciones de uso de frecuencia son otorgadas generalmente por un período máximo de 20 años.

Dependiendo de la demanda de solicitudes de autorizaciones y la disponibilidad espectral, la URSEC puede determinar que la asignación de frecuencias se realice mediante un procedimiento competitivo y no a demanda. En esos casos la URSEC elabora el pliego de condiciones para el procedimiento competitivo y lo eleva al PE para su aprobación.

Reglamento de Licencias de Telecomunicaciones

Este reglamento fue aprobado por Decreto Nº 115/003[49]. En él se establecen las condiciones para la prestación de servicios de telecomunicaciones, excluida la radiodifusión.

Se define licencia como la autorización para la prestación de servicios de telecomunicaciones a terceros o al público en general. Las licencias son otorgadas mediante resoluciones de la URSEC.

[49] http://www.impo.com.uy/bases/decretos/115-2003/1.

Las clases de licencias de telecomunicaciones otorgadas son

- *Clase A:* habilita la operación de una red pública de telecomunicaciones y la prestación por esos medios de los servicios de telecomunicaciones que resulten técnica y jurídicamente factibles conforme a la legislación vigente, con excepción del servicio de televisión para abonados. La licencia incluye el derecho y la obligación de dar interconexión y de negociar compensación recíproca por los servicios de acceso o terminación conmutada de telefonía.

- *Clase B:* habilita la prestación de servicios de telecomunicaciones utilizando como soporte la red, medios o enlaces propios o de otro prestador.

  - *Clase B1:* habilita la prestación de los servicios de telecomunicaciones que surgen de su plan técnico y para cuya prestación el licenciatario requiere el acceso a los recursos de numeración, enlaces u otros medios de las redes de titulares de licencias de telecomunicaciones clase A.
  - *Clase B2:* habilita la prestación de los servicios de telecomunicaciones que surgen de su plan técnico y para cuya prestación el licenciatario no requiere de acceso a los recursos de numeración, enlaces u otros medios de las redes de titulares de Licencias de Telecomunicaciones clase A.

- *Clase C (licencia para el arriendo de enlaces, medios y sistemas de telecomunicaciones):* habilita exclusivamente la instalación de enlaces, medios y sistemas de telecomunicaciones para su provisión o arriendo a licenciatarios de servicios de telecomunicaciones.

- *Clase D (licencia de televisión para abonado):* habilita la prestación de servicios de televisión por suscripción que requieren la utilización de medios de transmisión alámbricos o inalámbricos para la difusión de los contenidos.

Las licencias son otorgadas por la URSEC cuando una persona física o jurídica desea operar redes públicas y privadas de telecomunicaciones para prestar sus servicios. Este reglamento detalla las condiciones técnicas y las sanciones en caso de incumplimiento, entre otros aspectos regulatorios.

Reglamento del Servicio de Radioaficionados

El reglamento de radioaficionados[50] fue aprobado por la Resolución N° 262/003[51] de la URSEC. La modalidad de uso de los canales radioeléctricos en el servicio de radioaficionados corresponde al uso común del ERE. Esto implica que la operación en las frecuencias radioeléctricas atribuidas a este servicio requiere de la previa obtención de la autorización correspondiente de acuerdo a los términos que se establecen en este reglamento y las normas complementarias que eventualmente dicte la URSEC.

La operación del servicio de radioaficionados se realiza en base a la compartición de las frecuencias radioeléctricas entre quienes las usufructúan, no asignándose en ningún caso frecuencias, sea en carácter compartido o exclusivo, ni dándose protección alguna contra las interferencias perjudiciales que pudieren causar las emisiones de otras estaciones autorizadas siempre que operaren en las condiciones impuestas por este Reglamento. La operación de estaciones en frecuencias atribuidas al servicio de radioaficionados sólo podrá efectuarse por parte de radioaficionados o Radio Clubes (asociación civil constituida por radioaficionados con el objeto de fomentar el desarrollo del servicio de radioaficionados).

Los tipos de autorizaciones que permiten la instalación y operación de equipos de radiocomunicaciones aptos para transmitir en frecuencias atribuidas al servicio de radioaficionados y el empleo de distintivos de llamadas son las siguientes:

- Certificado de Distintivo Especial
- Permiso internacional de radioaficionado emitido por la Administración de Telecomunicaciones, en inglés *International Amateur Radio Permit* (IARP)
- Permiso de Estación
- Permiso de Radioaficionado

La autorización otorgada por la URSEC no involucra la obtención de los permisos comprendidos en áreas de competencias de otros organismos públicos.

Los permisos de radioaficionado y de estación tendrán una vigencia de 5 años, con excepción de los expedidos por reciprocidad o cortesía, los cuales se expe-

[50] La Ley N° 13.569 del 14 de octubre de 1966 declaró de interés nacional la actividad de los radioaficionados y la Ley N° 17.517 refiere a la instalación de sistemas de antenas por parte de radioaficionados.

[51] https://www.ursec.gub.uy/inicio/normativa/telecomunicaciones/radiocomunicaciones.

dirán con una vigencia de 1 año. En algunos casos se debe rendir un examen para obtener el permiso de radioaficionado.

Servicio de Radiodifusión Comunitaria

La Ley N° 18.232[52] promulgada por el PE el 22 de diciembre del 2007[53], establece las normas que rigen al servicio de radiodifusión comunitaria. En dicha ley se determina que el PE (con el asesoramiento de URSEC y con la opinión del Consejo Honorario Asesor de Radiodifusión Comunitaria (CHARC)) reservará para la prestación del servicio de radiodifusión comunitaria y otros sin fines de lucro, al menos un tercio del ERE por cada localidad en todas las bandas de frecuencia de uso analógico y digital y para todas las modalidades de emisión. La reserva deberá ser actualizada anualmente y será de conocimiento público. La asignación de frecuencias para servicios de radiodifusión comunitaria (una vez identificadas las disponibles por parte de URSEC) se realiza mediante concurso abierto y público y las autorizaciones son otorgadas por un plazo de 10 años[54].

Servicios de Comunicación Audiovisual

La Ley N° 19.307[55] denominada "Ley de Medios. Regulación de la prestación de servicios de radio, televisión y otros servicios de comunicación audiovisual", promulgada por el PE el 29 de diciembre del 2014 y su decreto reglamentario: Decreto No. 160/019 del 5 de junio del año 2019, regula la prestación de servicios de radio, televisión y otros servicios de comunicación audiovisual. Comprende disposiciones relativas a los derechos de los prestadores de servicios de comunicación, disposiciones sobre publicidad y promoción de la diversidad y el pluralismo y la producción audiovisual nacional, entre otras, amparando el derecho a la libre expresión y el de acceso a la información. La autorización y su correspondiente asignación de ERE se otorga por el plazo de 10 años para servicios de radiodifusión de radio y de 15 años para servicios de radiodifusión de televisión.

La mencionada ley era considerada imprescindible pues el marco normativo hasta el año 2014 era basado en la Ley de Radiodifusión vigente en nuestro país des-

[52]http://www.impo.com.uy/bases/leyes/18232-2007.

[53]Reglamentada por Decreto N° 417/010 del 30 de diciembre del 2010 (http://www.impo.com.uy/bases/decretos/417-2010).

[54]https://www.presidencia.gub.uy/comunicacion/comunicacionnoticias/radios-comunitarias-frecuencias-uso-compartido-interior+pais.

[55]http://www.impo.com.uy/bases/leyes/19307-2014..

de 1977 que era considerada obsoleta dado que no era capaz de responder a los desafíos regulatorios de los avances tecnológicos de los últimos años [28], [29].

Esta Ley crea la Comisión Honoraria Asesora de Servicios de Comunicación Audiovisual (CHASCA), la cual sustituye al CHARC[56] y a la Comisión Honoraria Asesora Independiente (CHAI)[57].

Servicios Móviles

Las autorizaciones para el uso del ERE en las bandas atribuidas a los servicios móviles en el CNAF, son otorgadas a través de procedimientos competitivos mencionados en los reglamentos anteriores.

Se han utilizado diversos mecanismos a la hora de asignar frecuencias mediante procedimientos competitivos a nivel mundial como ser loterías, procesos de evaluación comparativa ("concursos de belleza"), subastas de una sola ronda o rondas sucesivas.

La lotería o sorteo fue un mecanismo usado en Estados Unidos a partir del año 1982 el cual no dio resultados debido a que los ganadores no tenían intención de utilizar el ERE sino que vendieron los derechos de uso a terceros, proceso que llevo años e implico importantes pérdidas en el sector. Por otra parte, los procedimientos competitivos como las llamadas audiencias comparativas (concursos de belleza, en inglés *beauty contests*) son un instrumento para asignar recursos escasos y son consideradas por algunos autores como más propicios a la corrupción y a los favoritismos [30].

Las subastas se han convertido en el mecanismo dominante para asignar el ERE en materia de servicios móviles pues permiten asignar de forma eficiente, transparente y a un precio que refleja el valor real del espectro para el mercado. El diseño de las subastas es complejo y requiere del asesoramiento de expertos en el área [31].

En Uruguay, la URSEC ante la posibilidad de asignar el uso de frecuencias por procedimientos competitivos, eleva al PE el pedido de autorización para la asignación de los bloques de frecuencia que considera pueden ser utilizados para la prestación de servicios de comunicaciones móviles. Si el PE autoriza la asignación propuesta, le encomienda a la URSEC la elaboración del Pliego de Bases y

[56]Creado por la Ley Nº 18.232 del año 2007.
[57]Creada por el Decreto Nº 374/08 del año 2008.

Condiciones del procedimiento competitivo[58].

El caso uruguayo posee la particularidad de que ANTEL es un servicio descentralizado del Estado uruguayo y a su vez una empresa prestadora de servicios de comunicaciones móviles por lo tanto, para evitar que el Estado sea quien convoque el procedimiento y a su vez participe de manera activa de él, se determina que ANTEL participe mediante el mecanismo de reserva previa de ERE aportando transparencia y credibilidad. Dicho mecanismo implica que, de los lotes de frecuencia a asignar, se reserven algunos a favor de ANTEL previo al comienzo del procedimiento.

El procedimiento competitivo en Uruguay consta actualmente de tres instancias[59]:

- *Instancia previa:* En la cual los interesados adquieren el pliego.
- *Instancia Inicial del Procedimiento (IIP):* Quienes compraron el pliego deberán presentar la documentación indicada por la URSEC para ser controlada. En esta instancia se determina si los interesados cumplen los requisitos técnicos y económicos para pasar a la siguiente instancia, no forma parte del procedimiento competitivo.
- *Instancia Final del Procedimiento (IFP):* En esta instancia los pre-calificados presentan ofertas para los lotes de frecuencia que se ofrecen mediante rondas, en esta instancia se realiza la selección.

El derecho a uso de bandas de frecuencia para proveer servicios de telefonía móvil se otorga por 20 años y en carácter de usuario y no de propietarios del ERE.

La relevancia del servicio móvil se ha ido incrementando a medida que los usuarios finales consumen cada vez más servicios de datos a través de las redes móviles, lo anterior acompañado del rápido desarrollo de nuevas tecnologías ha aumentado los requisitos de ERE en todo el mundo. Esto lleva a la necesidad de planificar una asignación oportuna de la cantidad necesaria de ERE; y así garantizar un desarrollo adecuado de los servicios móviles en la región. La asignación de ERE para la industria móvil se considera un requisito indispensable para la *Sociedad del Conocimiento* y el desarrollo económico de los países.

Las telecomunicaciones móviles internacionales, en inglés *International Mobile Telecommunications* (IMT) son sistemas móviles que ofrecen acceso a una amplia gama de servicios de telecomunicaciones y en particular a servicios móviles

[58]Un ejemplo de autorización es la dada por el Decreto Nº 83/015 del PE y un ejemplo de Pliego se puede encontrar en el Decreto Nº 390/012.

[59]Decreto Nº 438/001.

avanzados. Los sistemas IMT soportan aplicaciones de baja a alta movilidad y una amplia gama de velocidades de datos de acuerdo a las exigencias de los usuarios y los servicios en múltiples entornos. Gracias a las características que poseen, las IMT dan respuesta a las necesidades del usuario en permanente cambio. Las capacidades de los sistemas IMT se mejoran continuamente en concordancia con las tendencias de los usuarios y de las novedades tecnológicas[60].

Bandas ICM

Las bandas ICM[61] son bandas de radiofrecuencia reservadas internacionalmente para uso no comercial con fines industriales, científicos, médicos, domésticos o similares, por ejemplo la cocción de alimentos en hornos de microondas, ciertas aplicaciones médicas y los controles remotos de puertas de garaje. Dichas bandas están definidas en el Artículo 5 del RR de la UIT[62].

El Artículo 15 del RR (Interferencias) indica que cada administración adoptará las medidas prácticas necesarias para que la radiación de los equipos destinados a aplicaciones ICM sea mínima y para que, fuera de las bandas destinadas a estos equipos, el nivel de dicha radiación sea tal que no cause interferencia perjudicial al resto de los servicios que operan en esas bandas. Adicionalmente el RR indica que los servicios de radiocomunicación que funcionan en las bandas destinadas a las aplicaciones ICM deben aceptar la interferencia perjudicial que las ICM puedan provocar[63].

Estas bandas se denominan comúnmente bandas "sin licencia", pues pueden ser utilizadas sin necesidad de realizar una solicitud formal, siempre que los equipos utilizados cumplan las especificaciones técnicas necesarias. Es un error pensar que un ERE sin licencia no está regulado, en realidad la regulación técnica detallada de los dispositivos sin licencia es lo que hace posible su coexistencia. Los dispositivos sin licencia están regulados para limitar su capacidad de interferir unos con otros.

La utilización de estas bandas permitió construir redes inalámbricas para transmisión de datos que hoy cubren importantes áreas geográficas. El ERE sin licencia

[60]Extraído y adaptado de la *Recomendación UIT-R M.1224-1 - Vocabulario de términos de las telecomunicaciones móviles internacionales (IMT).*

[61]La *Recomendación UIT-R SM.1056-1* aporta información técnica detalla sobre las bandas y aplicaciones ICM y el *Informe UIT-R SM.2180* presenta un método de análisis de la interferencia y de los límites de radiación de los equipos ICM.

[62]Numerales: 5.138, 5.150 y 5.280.

[63]URSEC advierte de estas condiciones cuando se asigna una frecuencia de las bandas ICM.

es el pilar fundamental del éxito del conocido Wi-Fi[64] que garantiza la posibilidad de interacción de los equipos producidos por diferentes fabricantes, lo que derivó en un rápido crecimiento del mercado e impulsó la competencia. La banda de frecuencia ICM ubicada entre 2400 MHz y 2483 MHz es la que la utilizan ampliamente las computadoras portátiles, las tabletas y los teléfonos inteligentes[65].

2.6. Contexto Regional

Las ondas radioeléctricas atraviesan las fronteras nacionales por lo que muchos de los usos del ERE repercuten fuera del territorio de cada país o región. Suele ser necesario entablar discusiones bilaterales o multilaterales para coordinar la utilización del ERE en las regiones de frontera y para resolver los problemas potenciales de interferencia. La regulación del ERE definida en cada país o región esta ligada íntimamente a los tratados regionales e internacionales de los que participa.

Diversos organismos se encargan de regular y, en algunos casos operar, internacionalmente lo relativo a las telecomunicaciones, la UIT lo hace a nivel internacional y la CITEL a nivel regional. Existen otros organismos internacionales con aportes en materia de regulación de las telecomunicaciones como es el caso de la Organización Mundial del Comercio (OMC)[66].

A nivel del MERCOSUR se han formulado resoluciones relacionadas con el ERE[67] las cuales se toman en cuenta en las decisiones de atribución y asignación que toma nuestro gobierno en materia de telecomunicaciones.

En el marco internacional, la Ley N° 16.967 promulgada por el PE el 10 de junio de 1998 aprueba en Uruguay el convenio de constitución de la UIT[68], éste constituye una de las bases más importantes de la normativa existente, a su vez la UIT ha publicado una serie de recomendaciones para la explotación del ERE en áreas fronterizas[69].

---

[64]En 1997 el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, en inglés *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) aprobó el estándar 802.11.

[65]Extraído y adaptado de https://www.apc.org/es/.

[66]Organización internacional que se ocupa de las normas que rigen el comercio entre los países, Uruguay es miembro de la OMC desde el año 1995. https://www.wto.org/.

[67]http://www.mercosur.int/innovaportal/v/485/2/innova.front/resoluciones.

[68]http://www.parlamento.gub.uy/htmlstat/pl/convenios/conv16303-1.htm.

[69]Por ejemplo la *UIT SM.1049-1: Método de gestión del ERE destinado a facilitar el proceso de asignación de frecuencias a estaciones de servicios terrenales en zonas fronterizas.*

El llamado *Libro Azul*[70] es una herramienta de referencia para proporcionar a los países de la región de las Américas descripciones e información objetivas sobre políticas de telecomunicaciones y asuntos relativos a la regulación, incluidas las dificultades y oportunidades que presenta el desarrollo de nuevas tecnologías de telecomunicaciones.

En la Tabla 2.4 se resumen los principales organismos reguladores de algunos países de América Latina.

País	*Organismos Competentes*	*Generalidades*
Argentina	Secretaría de Comunicaciones (SECOM), Comisión Nacional de Comunicaciones (CNC) y Autoridad Federal de Servicios de Comunicación Audiovisual (AFSCA).	Se separa la radiodifusión tradicional (radio y televisión) de la transmisión de datos. Por un lado, la SECOM asigna ERE destinado a telecomunicaciones, por otro la AFSCA asigna las porciones del ERE a radiodifusión. La CNC controla la viabilidad técnica y geográfica de dichas asignaciones.
Brasil	Ministerio de Comunicaciones (MiniCom) y la Agencia Nacional de Telecomunicaciones (ANATEL)	ANATEL se crea como un ente regulador formalmente autónomo, siguiendo el modelo general de la Comisión federal de comunicaciones, en inglés *Federal Communications Commission* (EE.UU.) (FCC) de Estados Unidos, con autoridad sobre las telecomunicaciones, mientras que la radiodifusión sigue bajo la órbita del MiniCom.
Colombia	Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC), Agencia Nacional del Espectro (ANE) y Comité Nacional del Espectro (CNE)	Todos los organismos están bajo la autoridad del MinTIC, la ANE da soporte técnico y operacional al ministerio y el CNE esta limitado a realizar recomendaciones.

[70]https://www.citel.oas.org/en/SiteAssets/About-Citel/Publications/BlueBook_e.pdf.

País	*Organismos Competentes*	*Generalidades*
Ecuador	Consejo Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL Ecuador) y Superintendencia de Telecomunicaciones (SUPERTEL)	SUPERTEL es el organismo encargado del monitoreo y fiscalización de las telecomunicaciones, opera bajo la órbita de CONATEL Ecuador como parte de la estructura de manejo del ERE. CONATEL Ecuador está subordinado al Ministerio de Telecomunicaciones, que es el órgano ejecutivo formulador de políticas.
Perú	Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) y Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL)	La gestión del ERE está a cargo del Viceministerio de Comunicaciones que responde al Despacho Ministerial del MTC. El OSIPTEL es un ente vinculado al MTC involucrado con los procesos de asignación de frecuencias y fiscalización de su uso, pero las autorizaciones, licencias y permisos se gestionan mediante la *Dirección de Autorizaciones* del MTC.
Venezuela	Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL Venezuela)	CONATEL Venezuela es desde el año 2010 un instituto autónomo adscrito a la Vicepresidencia de la República Bolivariana de Venezuela (órgano rector de las telecomunicaciones). Tiene entre sus funciones la administración, regulación, ordenación y control del ERE, así como también, establece las políticas para la planificación y determinación del CNAF.

Tabla 2.4: Organismos Reguladores en Latino América[71].

La experiencia en la gestión del ERE en la región no es uniforme, en comparación con la Unión Europea (donde existe una normativa supranacional que asegura un modelo coherente de gestión), en América Latina, la situación está caracterizada

[71]Elaborado en base a documento *Uso del espectro en América Latina del año 2011* [32].

por una diversidad de esquemas regulatorios [33][72].

2.6.1. Nuevos Retos en la Gestión del ERE

La gestión del ERE enfrenta a nivel mundial muchos desafíos, entre ellos[73]:

- El aumento en los servicios que utilizan el ERE, así como la diversidad de agentes que lo utilizan (administraciones públicas, agencias de investigación y desarrollo sin ánimo de lucro, operadores privados).
- La velocidad de las innovaciones tecnológicas que se relacionan o se basan en el uso del ERE. La aparición de nuevas tecnologías que potencialmente pueden mejorar la eficiencia de utilización del ERE[74].
- La creciente utilización de bandas que no precisan licencia para su uso (por ejemplo aquellas en las que se encuentran Wi-Fi y Bluetooth).
- La existencia de bandas que no son utilizadas por los servicios que tienen asignados y que, por lo tanto, deberían ser reasignadas (fallos en la planificación o en la atribución para los servicios contemplados en el RR).
- La convergencia tecnológica.

Convergencia

El concepto de convergencia tiene muchas definiciones, puede referirse a la combinación de diferentes tecnologías, redes y servicios.

Convergencia de redes y servicios: se refiere a la capacidad de ofrecer servicios sobre distintas tecnologías de red, es decir permite a los usuarios tener acceso a múltiples servicios en una sola plataforma.

[72]Consultar información adicional sobre la regulación del ERE en la región en [34] y [35].

[73]Según informe Gretel 2007. Gretel es el Grupo de Regulación de las telecomunicaciones del Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación de la Asociación Española de Ingenieros de Telecomunicación (COIT/AEIT) [36].

[74]Esto ha llevado a los expertos a abandonar la caracterización del ERE como "recurso escaso" por la de "recurso finito".

Convergencia de Dispositivos: Capacidad de ofrecer ya sea varios servicios sobre una misma red usando un mismo equipo terminal, o un mismo servicio sobre múltiples redes usando el mismo terminal.

La mayoría de las normas existentes se basan en la idea de que la radiodifusión, la informática y las telecomunicaciones son industrias distintas desde el punto de vista comercial y, por lo tanto, están sujetas a regímenes reglamentarios independientes. Sin embargo, la realidad esta cambiando y los servicios convergentes desdibujan las fronteras entre estas industrias, lo que puede conducir a conflictos [37].

Acceso Dinámico al Espectro

La manera clásica de acceder al ERE, utilizando bloques de frecuencia previamente asignados de forma exclusiva a usuarios licenciados ha permitido el desarrollo de las comunicaciones inalámbricas libres de interferencias perjudiciales, pero la tecnología disponible hace que este acceso pueda optimizarse mediante técnicas relacionadas con el acceso dinámico al espectro, en inglés *Dynamic Spectrum Access* (DSA).

Gracias al DSA nuevos agentes podrán utilizar frecuencias que de otro modo no sería posible que las utilicen. En la actualidad el instituto europeo de normas de telecomunicaciones, en inglés *The European Telecommunications Standards Institute* (ETSI) trabaja en estandarizar sistemas DSA en la banda de 2.3-2.4 GHz.

En esta modalidad es necesario desarrollar métodos de asignación de ERE que sean más dinámicos y que operen aprovechando las características de las nuevas tecnologías de radio. Todo este desarrollo debe apuntar a una mayor flexibilidad de las redes inalámbricas de próxima generación para adaptarse a las nuevas condiciones.

Licencia de Acceso Compartido

Licencia de acceso compartido, en inglés *Licensed Shared Access* (LSA) es una herramienta de gestión del ERE complementaria que facilita la introducción en una banda de frecuencia de nuevos usuarios, sin modificar los servicios que se prestan en dicha banda.

El Grupo de política del espectro radioeléctrico, en inglés *Radio Spectrum Policy*

Group (RSPG) ha definido la LSA como: *"Un enfoque regulatorio con el objetivo de facilitar la introducción de sistemas de radiocomunicaciones operados por un número limitado de licenciatarios en virtud de un régimen de licencias individuales en una banda de frecuencia ya asignada o en espera a ser asignada a uno o más usuarios titulares. Bajo el enfoque de licencia de acceso compartido (LSA), los usuarios adicionales están autorizados a usar el ERE (o parte de él), de conformidad con las normas de compartición incluidas en sus derechos de uso del ERE, permitiendo así que todos los usuarios autorizados cuenten con una calidad de servicio (QoS) determinada.".*

LSA no incluye conceptos como "acceso oportunista al ERE", "uso secundario" o "servicio secundario", pues en estos el nuevo usuario de ERE (o usuario adicional) no tiene protección contra interferencias perjudiciales que puedan ser provocadas por los usuarios primarios (o usuarios titulares)[38], [39].

El primer caso de uso práctico de la LSA está siendo estudiado por la CEPT, la idea será proporcionar acceso adicional para servicios de banda ancha móvil [40]. A su vez Francia a iniciado las pruebas de este nuevo método[75].

[75]http://www.mediatelecom.com.mx/index.php/agencia-informativa/noticias/item/99444-inician-pruebas-de-compartici%C3%B3n-de-espectro-en-francia.

Capítulo 3

Uso Actual del ERE en Uruguay

A menudo escuchamos noticias sobre diferentes servicios de radiocomunicaciones, incluso sobre la competencia que existe a nivel de las empresas de telecomunicaciones por controlar ciertos servicios. Sin embargo, pocas veces el tema central de la discusión es el uso real que se le da al ERE como el recurso finito que es. En este capítulo se presenta el estado de situación del uso del ERE en Uruguay entre los 30 MHz y los 3000 MHz, es decir, en las llamadas bandas de VHF y UHF mediante un análisis en términos de atribución, adjudicación y asignación de ERE.

En la Sección 3.1 se presenta la atribución de frecuencias en Uruguay, mientras que en la Sección 3.2 se presenta la adjudicación. En la Sección 3.3 se detalla la asignación de bandas de frecuencia y finalmente, en la Sección 3.4 se presentan estadísticas que complementan la descripción del uso actual del ERE en Uruguay. Los datos presentados en este Capítulo corresponden a una investigación realizada durante el año 2015.

3.1. Atribuciones

En el Artículo 5 del Reglamento de Administración y Control del ERE[1] se dispone la creación del CNAF a cargo de la URSEC, el cual será presentado más adelante en esta sección. El CNAF tiene como finalidad lograr una utilización coordinada y eficaz del ERE. Allí se establece qué bandas de frecuencia serán aplicables a

[1]Decreto Nº 114/003.

los diferentes tipos de servicios de radiocomunicaciones. Para la elaboración del CNAF se toman en cuenta: el RR, convenios internacionales vigentes, disponibilidades nacionales e internacionales de canales radioeléctricos y las prioridades nacionales establecidas.

En el CNAF se identifica para cada banda una lista de servicios que son atribuidos a título primario o secundario y se mencionan diferentes excepciones o peculiaridades para ciertas regiones o países a través de las notas del Artículo 5 del RR. La UIT explica en el RR el compromiso que asumen los estados miembros respecto al cuadro de atribuciones que allí se publica:

"Los Estados Miembros se comprometen a atenerse a las prescripciones del Cuadro de atribución de bandas de frecuencias, así como a las demás disposiciones del presente Reglamento, al asignar frecuencias a las estaciones que puedan causar interferencias perjudiciales a los servicios efectuados por las estaciones de los demás países."[2].

De lo anterior se destaca que no se obliga a los estados miembros a acatar, ni replicar la atribución incluida en el RR en toda la extensión de su territorio, sino que se llama al compromiso de que se respete en zonas donde se pudiera causar problemas de interferencia con estados vecinos.

3.1.1. Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias

El Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias fue elaborado por URSEC en el año 2002[3]. A pesar de no ser una versión actualizada, se presenta en la Fig. 3.1 el CNAF de URSEC por ser el oficial para Uruguay, restringido a las bandas VHF y UHF[4].

Los números representan el servicio atribuido a cada banda de frecuencia según la Tabla A.1, no se especifica si los servicios se atribuyen a título primario o secundario.

[2]Capítulo 2, Artículo 4 del RR [25].

[3]En contacto con personal de URSEC en julio del año 2015, se informa que este CNAF es obsoleto y que el cuadro de atribución que se toma en cuenta actualmente es el publicado por UIT en el RR. Asimismo, se indica que la URSEC está en proceso de implementar un nuevo software de gestión que facilitará, una vez que se encuentre operativo, la elaboración de este CNAF, por lo que es de esperar que un nuevo CNAF sea publicado en el futuro.

[4]En el Apéndice A se incluye el CNAF en una escala más adecuada para versiones impresas.

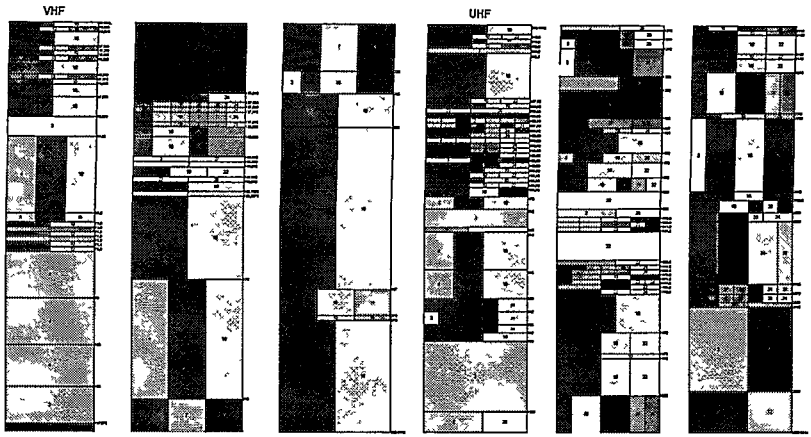


Figura 3.1: Cuadro de atribución de URSEC. Referencias: Tabla A.1.

3.1.2. Atribución por Servicio

Si bien el CNAF constituye una forma de presentar la atribución de forma ordenada y estandarizada, no es tan sencillo extraer del cuadro conclusiones cualitativas sobre la atribución que éste muestra. En la Fig. 3.2 se muestra la cantidad de ERE expresado en MHz que es atribuido a cada servicio dentro de las bandas de interés, VHF y UHF, según el CNAF. Dado que existen bandas con más de un servicio atribuido, las cantidades mostradas no deben interpretarse como el ERE destinado al servicio en forma exclusiva.

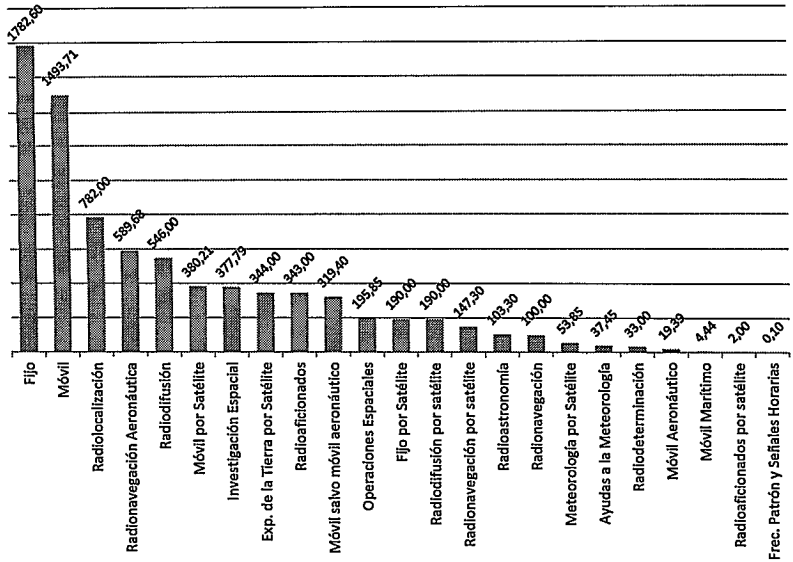


Figura 3.2: Cantidad de ERE atribuido por servicio en Uruguay (MHz).

Se observa que los servicios de radiocomunicaciones móvil y fijo son los que más ERE tienen atribuido, cada uno de ellos superando al doble del total asignado al servicio de radiodifusión. Teniendo en cuenta que la radiodifusión incluye a la televisión abierta analógica y digital, emisoras de AM y FM, entre otros, la diferencia es significativa y cómo se muestra en la Sección 3.4, la tendencia en la demanda de ERE para el servicio móvil presenta un claro aumento.

3.1.3. Diferencias con la Atribución de UIT

Con el fin de analizar la atribución en las bandas de VHF y UHF en Uruguay se hace la comparación de las atribuciones publicadas en el RR de UIT edición 2012 para la región 2 y la atribución que publica la URSEC en el cuadro nacional de atribución de frecuencias (ver Tabla 3.1). Como se vio al principio de este capítulo estos dos cuadros de atribución no necesariamente deben coincidir, sin embargo

se comparan a modo de ejercicio de análisis[5].

En la primer columna se indica la banda en cuestión, en la segunda columna se muestra la atribución que realiza la UIT y en la tercera columna la atribución realizada en Uruguay. Para la recomendación de la UIT, se presentan los servicios atribuidos como primarios en mayúsculas y los atribuidos como secundarios en minúsculas. En cuanto a las números de nota, se muestran en línea con cada servicio cuando refieren al servicio y en la última línea de cada cuadro cuando refieren a toda la banda[6].

Banda (MHz)	Atribución UIT Región 2	Atribución CNAF Uruguay
76 - 88	RADIODIFUSIÓN Fijo Móvil	Radiodifusión (4)
136 - 137	MÓVIL AERONÁUTICO 5.200	Móvil aeronáutico (1) Fijo (5) Móvil salvo móvil aeronáutico (24)
156.4875 - 156.5625	MÓVIL MARÍTIMO (Socorro y llamada por LLSD) 5.226,5.227	Fijo (5) Móvil (10)
156.7625 - 156.7875	MÓVIL MARÍTIMO MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-Espacio) 5.111,5.226,5.228	Móvil Marítimo (7)
156.8125 - 156.8375	MÓVIL MARÍTIMO MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-Espacio) 5.226,5.228	Móvil Marítimo (7)
161.9625 - 161.9875	MÓVIL AERONÁUTICO OR MÓVIL MARÍTIMO MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-Espacio) 5.228C,5.228D	Fijo (5) Móvil (10)
432 - 438	RADIOLOCALIZACIÓN Radioaficionados Exploración de la Tierra por Satélite (activo)	Radioficionados (3) Radiolocalización (11)
960 - 1164	MÓVIL AERONÁUTICO RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.327A	Radionavegación Aeronáutica (2).
1260 - 1300	EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE RADIOLOCALIZACIÓN RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE 5.328B,5.329,5.329A INVESTIGACIÓN ESPACIAL Radioaficionados 5.332	Exploración de la tierra por Satélite (14) Radiolocalización (11) Investigación Espacial (20) Radioaficionados (3)
1300 - 1350	RADIOLOCALIZACIÓN RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA 5.337 RADIONAVEGACIÓN POR SATÉLITE 5.149,3.337A	Radionavegación Aeronáutica (2) Radiolocalización (11).
1492 - 1518	FIJO MÓVIL 5.343 5.341	Fijo (5) Movil (10) Móvil por Satélite (22)
1668 - 1668.4	MÓVIL POR SATÉLITE 5.351A RADIOASTRONOMÍA INVESTIGACIÓN ESPACIAL Fijo Móvil salvo móvil aeronáutico 5.149,5.341	Radioastronomía (17) Investigación Espacial (20) Fijo (5) y Móvil salvo móvil aeronáutico (24).

[5]Durante la investigación realizada se encontró que varias administraciones de otros países de la región tienen publicada dicha comparación.

[6]El contenido de cada nota está disponible en el Volumen I del RR [25].

Banda (MHz)	Atribución UIT Región 2	Atribución CNAF Uruguay
1668,4 - 1670	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA FIJO MÓVIL SALVO MÓVIL AERONÁUTICO MÓVIL POR SATÉLITE 5.351A RADIOASTRONOMÍA 5.341	Ayudas a la meteorología (9) Fijo (5) Móvil salvo móvil aeronáutico (24) Radioastronomía (17)
1670 - 1675	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (Espacio-Tierra) MÓVIL MÓVIL POR SATÉLITE (Tierra-Espacio) 5.351A 5 341,5.380A	Ayudas a Meteorología (9) Fijo (5) Meteorología por Satélite (16) Móvil (10)
1690 - 1700	AYUDAS A LA METEOROLOGÍA METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (Espacio-Tierra) 5.289,5.341	Ayudas a Meteorología (9) Meteorología por Satélite (16) Móvil por Satélite (22)
1700 - 1710	FIJO METEOROLOGÍA POR SATÉLITE (Espacio-Tierra) MÓVIL SALVO MÓVIL AERONÁUTICO 5 289,5.341	Fijo (5) Meteorología por Satélite (16) Móvil salvo móvil aeronáutico (24) Móvil por Satélite (22)
2290 - 2300	FIJO MÓVIL SALVO MÓVIL AERONÁUTICO INVESTIGACIÓN ESPACIAL	Móvil (10)
2500 - 2520	FIJO FIJO POR SATÉLITE (Espacio-Tierra) 5.415 MÓVIL SALVO MÓVIL AERONÁUTICO	Fijo (5) Fijo por satélite (21) Móvil salvo móvil aeronáutico (24) Móvil por Satélite (22)
2670 - 2690	FIJO FIJO POR SATÉLITE (Espacio-Tierra)(Tierra-Espacio) 5.208B,5.415 MÓVIL SALVO MÓVIL AERONÁUTICO 5.384A Exploración de la Tierra por Satélite (pasivo) Radioastronomía Investigación Espacial (pasivo) 5.149	Fijo (5) Fijo por satélite (21) Móvil salvo móvil aeronáutico (24) Exploración de la Tierra por Satélite (14) Radioastronomía (17) Investigación Espacial (20) Móvil por Satélite (22)

Tabla 3.1: Comparación entre atribución de UIT y atribución realizada por URSEC.

Las atribuciones registradas en el CNAF en Uruguay y las realizadas por UIT en su RR difieren, en cuanto al servicio atribuido, en un total de 416.15 MHz. Esto representa un 13.55 % del total de ERE de VHF y UHF.

En la Fig. 3.3 se muestra una comparación del ancho de banda atribuido por UIT contra lo que es atribuído en Uruguay en las bandas de VHF y UHF en aquellos servicios donde existe diferencia. Allí se puede ver que las mayores diferencias se dan para los servicios: móvil aeronáutico, móvil por satélite, radionavegación por satélite y móvil.

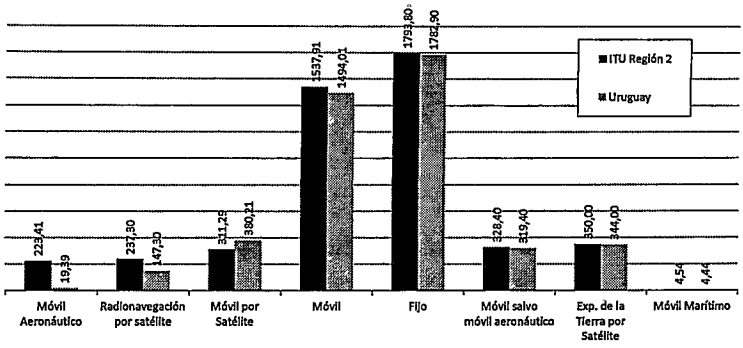


Figura 3.3: Cuadro comparativo entre atribución por servicio de UIT y URSEC.

3.2. Adjudicaciones

En esta sección se aborda el tema de la adjudicación a través de los acuerdos regionales de los que Uruguay forma parte respecto al uso de bandas y canales de radiofrecuencia (en particular dentro de las bandas VHF y UHF) con los países de la región. En la región, el MERCOSUR es un actor fundamental para la toma de decisiones sobre la adjudicación del ERE en Uruguay. Si bien a lo largo de la investigación se estudiaron acuerdos sobre el uso del ERE realizados por Uruguay previo a la fundación del MERCOSUR, estos acuerdos fueron posteriormente incorporados como resoluciones del MERCOSUR.

Algunas de las pautas negociadoras del grupo, principalmente aquellas que aplican a las actividades relacionadas al ERE, según la última actualización realizada en la Resolución N° 14/2008 son:

- Identificación de temas de interés y posicionamiento común en foros internacionales
- Desarrollo de la infraestructura regional e integración de los servicios de comunicaciones
- Investigación y desarrollo tecnológico
- Radiodifusión digital (sonora y televisión)
- Armonización del uso del ERE

- Coordinación de estaciones radioeléctricas

- Legislación e intercambio de información sobre la implementación de servicios de telecomunicaciones y uso y administración del ERE

- Convergencia de servicios y redes de telecomunicaciones de nueva generación (NGN)

- Armonizar principios de interconexión de redes de telecomunicaciones

- Relevamiento, monitoreo y mediciones de intensidad de campo de estaciones de radiodifusión

Resoluciones MERCOSUR

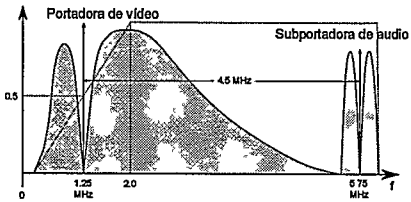
Las resoluciones tomadas por el GMC establecen las pautas a nivel regional para las decisiones sobre el uso del ERE, en especial para los procedimientos de asignación de canales y frecuencias. Estas resoluciones se encuentran publicadas en la página web del MERCOSUR.

En el marco de esta investigación, se realizó un repaso de todas aquellas resoluciones que involucraran en alguna medida la gestión del ERE repercutiendo específicamente sobre los usos que se le da en Uruguay al recurso. En general, las resoluciones indican qué frecuencias se deberán utilizar en cada país para determinado servicio de modo de evitar interferencias. Además, se determinan en caso de ser necesario las zonas de coordinación, que son franjas fronterizas donde los países están obligados a compartir la información de las estaciones radioeléctricas que allí se decida instalar con los países vecinos. El tamaño de dichas zonas de coordinación varía según la tecnología o el tipo de servicio en cuestión. También se definen los procedimientos y plazos admitidos para el intercambio de la información de estaciones en coordinación así como qué información ha de ser compartida o intercambiada.

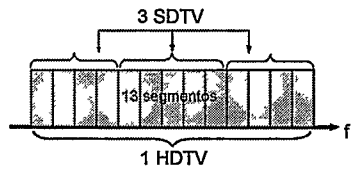
3.3. Asignaciones

Para conocer el uso del ERE es importante tener claro de qué forma las estaciones utilizan la banda de frecuencia que les es asignada. Esto puede variar según la tecnología empleada para dar el servicio, dado que cada una implementa su propia forma de acceder al recurso ERE.

Se observa que las tecnologías más recientes (como LTE o TV Digital) usan de mejor forma el ERE, con mayor eficiencia espectral y con mayor robustez frente a problemas conocidos. Quizá el ejemplo más claro sea el de la televisión digital (TVD) frente a la TV analógica. Mientras en un canal de 6 MHz se puede enviar una señal de TV analógica, el estándar ISDB-T (elegido por Uruguay para TVD) permite enviar en el mismo ancho de banda 3 señales de la misma calidad o una señal en HD, brindando no solamente mejor eficiencia espectral sino también mayor flexibilidad en el uso del ERE y el servicio que se provee (ver Fig. 3.4).



(a) Canal de 6 MHz de TV analógica.



(b) Canal de 6 MHz de TV digital, ISDB-T.

Figura 3.4: Comparación de uso del ERE para diferentes sistemas de TV.

Otro caso claro de como el uso del ERE ha evolucionado es el de los servicios móviles celulares. Éstos implementan técnicas de modulación y acceso al medio cada vez más robustas mejorando así las velocidades que ofrecen y la capacidad de prevalecer frente a obstáculos o en ambientes interiores. En la Tabla 3.2 se presenta un cuadro comparativo de las últimas cuatro generaciones de estándares para servicios móviles.

	AMPS	*GSM*	*UMTS*	*HSPA*	*LTE*
Bandas	850 MHz	850/900 MHz, 1.8/1.9 GHz	850/900 MHz, 1.8/1.9/2.1 GHz	850/900 MHz, 1.8/1.9/2.1 GHz	700 MHz, 1.5/1.7/2.1/2.6 GHz
Ancho de banda del canal	30 kHz	200 kHz	5 MHz	5 MHz	1.4, 3, 5, 10, 15, 6 20 MHz
Número de canales	832	-	-	-	-
Técnica de acceso al medio	FDMA	TDMA/FDMA	CDMA	CDMA/TDMA	OFDMA/SC-OFDMA
Modo de dúplex	FDD	FDD	FDD	FDD	FDD
Modulación de voz	FM	GMSK	-	-	-
Modulación de datos	-	-	DS-SS: QPSK	DS-SS: QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM: QPSK, 16QAM, 64QAM
Velocidad pico	-	GPRS: 107 kbps; EDGE: 384 kbps	384–2048 kbps	DL: 3.6– 14.4 Mbps; UL: 2.3–5 Mbps	DL: 150 Mbps (2x2 MIMO, 20 MHz); UL: 75 Mbps (10 MHz)
Velocidad típica de usuario	-	GPRS: 20-40 kbps; EDGE: 80-120 kbps	150–300 kbps	500–700 kbps	-
Latencia en plano de usuario	-	600-700 ms	100–200 ms	70–90 ms	5–15 ms

Tabla 3.2: Información comparativa de las tecnologías celulares aplicadas en Uruguay.

3.3.1. Uso de las Bandas VHF y UHF

Para estudiar la ocupación del ERE en Uruguay se estudian los servicios asignados en el espacio de frecuencias que componen las bandas de VHF y UHF. Para el primer revelamiento realizado sobre el uso del ERE se contó con información basada en las siguientes fuentes:

- Información disponible en el sitio web de URSEC que incluye planillas electrónicas, planes técnicos y resoluciones (año 2016).
- Leyes y decretos del Estado uruguayo publicados por la Dirección Nacional de Impresiones y Publicaciones Oficiales (IMPO).

- Información recibida del Grupo POLIMATE[7], actualizada a la fecha de septiembre de 2014.

La información obtenida por estos medios se puede ver en la Fig. 3.5 en la cual se representan las sub-bandas asignadas de VHF y UHF. Vale aclarar que los segmentos en blanco de esta figura no necesariamente son espacios libres, sino partes del ERE sobre las que, en este primer revelamiento, no se conoce su asignación. En la Fig. 3.5 se muestran además, las bandas de frecuencia identificadas para el despliegue de las IMT[8].

Como puede apreciarse esta información no abarca la totalidad de las bandas VHF y UHF, sino que se reduce a los servicios de radiodifusión y servicios móviles celulares. Por tal motivo se realiza un segundo revelamiento en el cual se consulta a URSEC acerca de las asignaciones en las porciones de ERE en las bandas de VHF y UHF de las cuales no se tiene información.

URSEC informa que estas asignaciones son de carácter reservado pues son consideradas como información sensible a las actividades de las empresas asignatarias y que no puede ser divulgada en virtud la Resolución N° 102/2012. En esta resolución se encuentra la siguiente definición para "información reservada": *"Clasificar como reservada la siguiente información: las asignaciones de frecuencias definidas como usos específicos y generales en el contexto del Decreto N° 114/003 empleadas para seguridad, seguridad pública y defensa nacional. Se excluyen de la reserva las frecuencias que corresponden a sistemas cuya asignación se efectiviza por procedimientos competitivos (tales como los de telecomunicaciones móviles, canales de radiodifusión, canales de radiodifusión por vínculo inalámbrico y similares)."* [41]. URSEC proporcionó sólo la información de qué tipos de servicios hay asignados en las bandas consultadas sin aclarar la ubicación geográfica de las estaciones, los canales asignados a cada una de ellas ni otros parámetros técnicos como la potencia utilizada o la altura de las antenas. Con esta nueva información se elabora la Fig. 3.6[9].

[7]http://www.prodic.edu.uy/GIpolimate.

[8]Una identificación para IMT se refiere a una gama específica de frecuencias en una banda que está designada para su posible uso por parte de tecnologías de banda ancha móvil compatibles.

[9]En esta figura se representa la franja de frecuencia de 2700 MHz a 2900 MHz con puntos suspensivos ya que mantener la proporcionalidad dificulta su presentación en el formato de este documento.

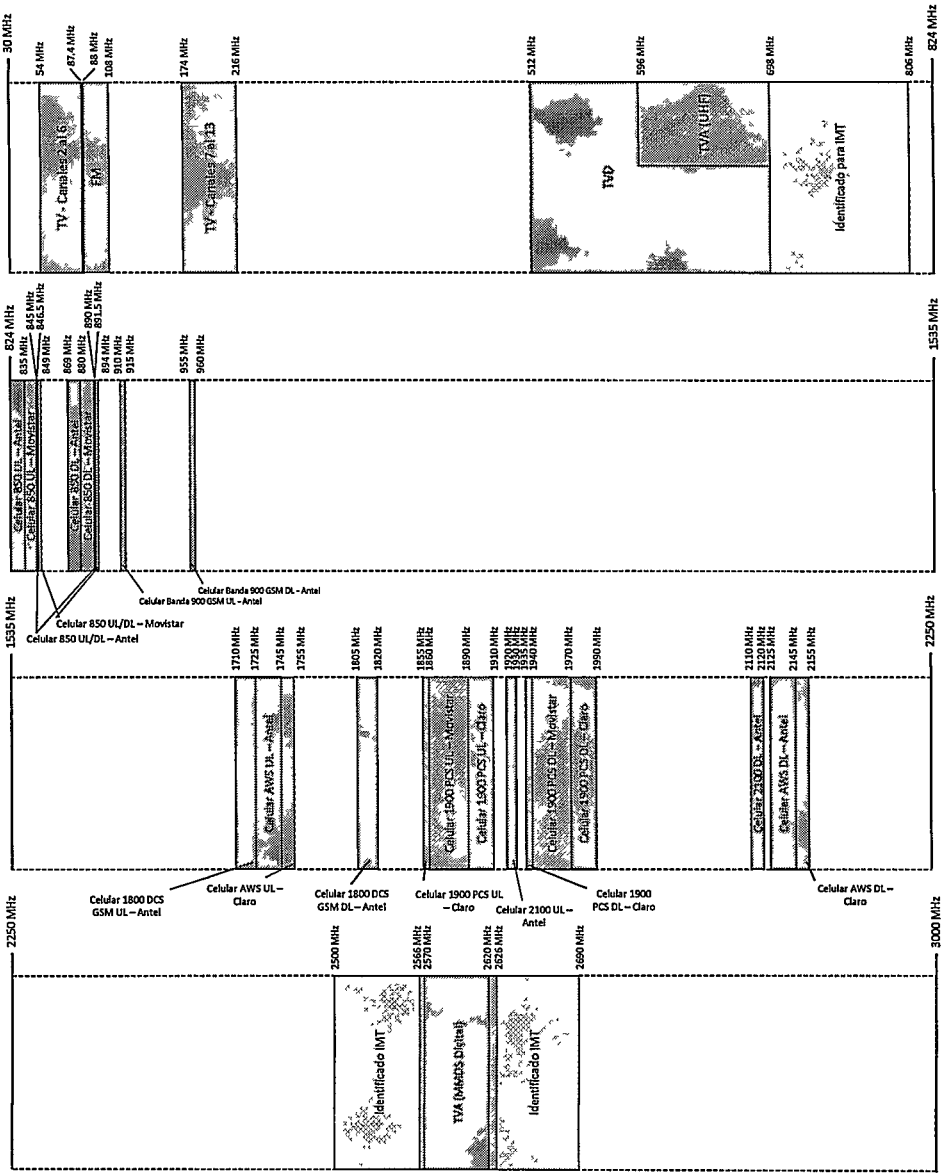


Figura 3.5: Asignaciones recopiladas de página web de la URSEC y POLIMATE.

30 MHz
50 MHz
54 MHz
87.4 MHz
88 MHz
108 MHz
174 MHz
216 MHz
512 MHz
596 MHz
698 MHz
806 MHz
824 MHz
Fijo-Móvil
TV - Canales 2 al 6
FM
Múltiples servicios
TV - Canales 7 al 13
Múltiples servicios
DVB
TVA (UHF)
Identificado para IMT
Fijo y Móvil
Radioaficionados
824 MHz
835 MHz
845 MHz
846.5 MHz
849 MHz
869 MHz
880 MHz
890 MHz
891.5 MHz
894 MHz
910 MHz
915 MHz
928 MHz
955 MHz
960 MHz
1535 MHz
Celular 850 UL – Antel
Celular 850 UL – Movistar
Fijo
Celular 850 DL – Antel
Celular 850 DL – Movistar
Fijo - Móvil
ICM baja potencia
Fijo - Móvil
Múltiples servicios (ajenos a los servicios fijos y móviles terrestres)
Celular Banda 900 GSM DL - Antel
Celular Banda 900 GSM UL - Antel
Celular 850 UL/DL – Movistar
Celular 850 UL/DL – Antel
1535 MHz
1710 MHz
1725 MHz
1745 MHz
1755 MHz
1805 MHz
1820 MHz
1855 MHz
1860 MHz
1890 MHz
1910 MHz
1920 MHz
1930 MHz
1935 MHz
1940 MHz
1970 MHz
1990 MHz
2110 MHz
2120 MHz
2125 MHz
2145 MHz
2155 MHz
2200 MHz
2250 MHz
Múltiples servicios (ajenos a los servicios fijos y móviles terrestres)
Celular AWS UL – Antel
Celular 1800 DCS UL – Movistar
Celular 1900 PCS UL – Claro
Fijo – Móvil baja potencia
Celular 1900 PCS DL – Movistar
Celular 1900 PCS DL – Claro
Fijo - Móvil por satélite
Celular AWS DL – Antel
Fijo - Móvil
Operaciones espaciales, Exploración de la tierra por satélite, Investigación espacial
Celular 1800 DCS GSM UL – Antel
Celular AWS UL – Claro
Celular 1800 DCS GSM DL – Antel
Celular 1900 PCS UL – Claro
Celular 2100 UL – Antel
Celular 1900 PCS DL – Claro
Celular AWS DL – Claro
2250 MHz
2300 MHz
2402 MHz
2482 MHz
2500 MHz
2566 MHz
2570 MHz
2620 MHz
2626 MHz
2690 MHz
2700 MHz
2900 MHz
3000 MHz
Operaciones espaciales, Exploración de la tierra por satélite, Investigación espacial, Fijo y Móvil
Fijo
ICM – WiFi
Identificado IMT
Identificado IMT
RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA – Radiolocalización
RADIONAVEGACIÓN AERONÁUTICA – Radiolocalización
RADIOLOCALIZACIÓN – RADIONAVEGACIÓN
EXPLORACIÓN DE LA TIERRA POR SATÉLITE – RADIOASTRONOMÍA – INVESTIGACIÓN ESPACIAL

Para interpretar correctamente las Fig. 3.5 y 3.6, es preciso recordar que las asignaciones de frecuencia se realizan en términos de las estaciones, por lo cual, en cada asignación hay una componente geográfica además de la designación de un canal o frecuencia a una entidad. Es así que, lo que se muestra como un solapamiento entre el ERE asignado al servicio de televisión para abonados por UHF codificado y al servicio de televisión digital (entre 596-698 MHz) no es necesariamente un problema que pueda causar interferencias entre estos servicios, en la medida que las estaciones asignadas en esa zona del ERE se encuentren apropiadamente separadas geográficamente. En ese caso televisión para abonados (TVA) tiene asignado el ERE sólo en determinadas localidades del país.

Según el Artículo 6 del Decreto Nº 114/003 de Reglamento de Administración y Control del Espectro Radioeléctrico, la información sobre las asignaciones de frecuencia debe estar centralizada en lo que se denomina el Registro Nacional de Frecuencias (RNF). También se explicita que este registro debe ser "de acceso público, excepto aquella (información) que por su naturaleza deba tenerse por reservada." [42]. Responsables de la URSEC indican que dicho registro unificado no está disponible al público como tal y que la única información de asignaciones que se puede divulgar es la que se encuentra en el sitio web de la URSEC.

Sin perjuicio de lo anterior, cabe mencionar que la URSEC publicó durante el desarrollo de esta investigación un documento que resume la Planificación Estratégica del organismo para los años comprendidos entre 2015 y 2019[10] donde se destacan algunas líneas de acción como son "Implantar la nueva plataforma del Sistema Informático modular e integrado de planificación, administración y gestión del ERE, con todas sus funcionalidades" y la "Publicación de datos en formato abierto". En particular dentro de la segunda línea de acción mencionada se marcó como objetivo para el año 2016 la "Publicación de atribución y asignación de espectro radioeléctrico", por lo que es de esperar que existan cambios en cuanto a la disponibilidad de la información en los próximos años.

Bandas de uso libre y común

Si bien una parte importante del ERE se encuentra regulada a través de asignaciones específicas, donde se determina la ubicación de las estaciones, canales o frecuencias a utilizar, duración del permiso para transmitir, entre otras limitaciones, hay porciones de las bandas de VHF y UHF cuya regulación tiene características completamente diferentes. Como es el caso de las bandas de uso libre y uso

[10]https://www.ursec.gub.uy/inicio/institucional/planificacion-estrategica-y-gestion/planificacion/.

común del ERE.

Uso libre

Como lo establece el Decreto N° 114/003[11], el uso en modalidad libre del ERE no requiere de autorización de las estaciones ni asignación de frecuencia alguna. Dentro de las bandas de VHF y UHF se atribuyen los siguientes tramos a ICM[12]: 40.66-40.70 MHz, 902-928 MHz y 2400-2500 MHz.

Como se ha mencionado, existen una variedad de aplicaciones en estas bandas como ser micrófonos inalámbricos, teléfonos inalámbricos, redes de área personal como las redes Bluetooth, puntos de acceso Wi-Fi por citar algunas. Estos dispositivos combinan el uso de bajas potencias de transmisión con técnicas de acceso al medio del tipo de espectro expandido (o en inglés, *spread spectrum*) lo que los hace más robustos frente a interferencias causadas por otras estaciones.

Uso común

La modalidad de uso común del ERE difiere de la modalidad libre en que la primera sí requiere autorización de la administración. El uso común sin embargo, no implica una asignación de un canal ni de un servicio en particular.

En VHF se encuentra bajo esta modalidad al servicio de radioaficionados atribuido en la siguientes bandas, asignadas a título primario:

- 50-54 MHz
- 144-148 MHz
- 220-225 MHz

En UHF las bandas atribuidas a radioaficionados son las que siguen, asignadas a título secundario:

- 430-438 MHz
- 438-440 MHz
- 614-698 MHz

[11]Reglamento de Administración y Control del ERE [42].
[12]Ver Sección 2.5.

- 902-928 MHz
- 1240-1300 MHz
- 2300-2450 MHz

3.3.2. La Dimensión Geográfica del ERE

En la sección anterior, se presentaron gráficamente las asignaciones en las bandas de frecuencia en Uruguay sin tomar en cuenta la dimensión geográfica de éstas. Como ya se ha mencionado, éstas asignaciones no son necesariamente válidas en todo el territorio nacional, sino dentro de ciertos límites establecidos por la administración. A la hora de realizar una asignación éstos límites son impuestos definiendo valores para ciertos parámetros técnicos como por ejemplo la potencia máxima con la que una estación puede transmitir.

Para el caso de las estaciones de radiodifusión se establece el llamado *contorno de protección*. El contorno de protección delimita la zona geográfica correspondiente al área primaria de servicio de una estación, cuyo centro se ubica en la posición de la antena transmisora y su radio (en km) se determina por los parámetros técnicos de la estación[13].

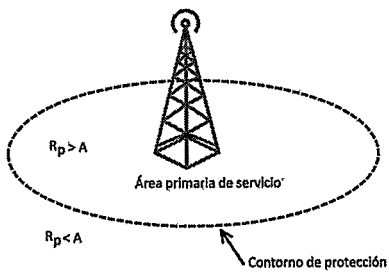


Figura 3.7: Área primaria de servicio de una estación de radiodifusión.

Formalmente, el contorno de protección es el límite del área geográfica dentro de la cual la relación entre la intensidad del campo de la señal transmitida por una estación (señal deseada, S_d) y las señales interferentes (señal no deseada, S_{nd}) supera un umbral, al que se llama *relación de protección* (R_p).

[13]Parte de esta información se encuentra disponible en: https://www.ursec.gub.uy/inicio/informacion-tecnica/telecomunicaciones/radiodifusion-sonora/2014-listados-radiodifusion/.

$$R_p = \frac{S_d}{S_{nd}} \tag{3.1}$$

La regulación establece la relación de protección (es decir, el valor "A" de la Fig. 3.7). Con este parámetro, la Potencia Efectiva Radiada (PER) y la altura media de antena (HMA) de una estación se obtiene el radio del contorno de protección mediante las curvas de propagación de la FCC $F(50, 50)$[14] (tal como lo especifica la regulación vigente en Uruguay).

En lo que sigue se brinda una visión del uso del ERE desde el aspecto geográfico, mostrando cómo ciertas bandas de radiodifusión admiten un reuso espacial del ERE que todavía parece no estar explotado en todo su potencial en Uruguay. En particular, se busca mostrar la existencia de espacios en blanco, en inglés *White Spaces* (WS) en el país, es decir, lugares donde ciertos canales o bandas de frecuencia no están siendo utilizados.

Espacios en blanco de TV

En el Decreto N° 298/995 que internaliza la Resolución N° 06/95 del MERCOSUR se establecen los contornos de protección para las estaciones de TV según su categoría. A las estaciones que operan en la banda baja de VHF (canales 2 al 6) les corresponde una relación de protección de 47 $dB\mu/Vm$. A modo de ejemplo, en la Fig. 3.8 se muestran las coordenadas de las estaciones de TV asignadas al canal 2 de VHF (54-60 MHz), donde el contorno de protección se representa por un círculo coloreado. Este contorno indica el área primaria de servicio de cada estación de forma aproximada, ya que no toma en cuenta los factores geográficos ni los climáticos, fue derivado de la información publicada por la URSEC en su sitio web.

[14]https://www.fcc.gov/media/radio/fm-and-tv-propagation-curves.

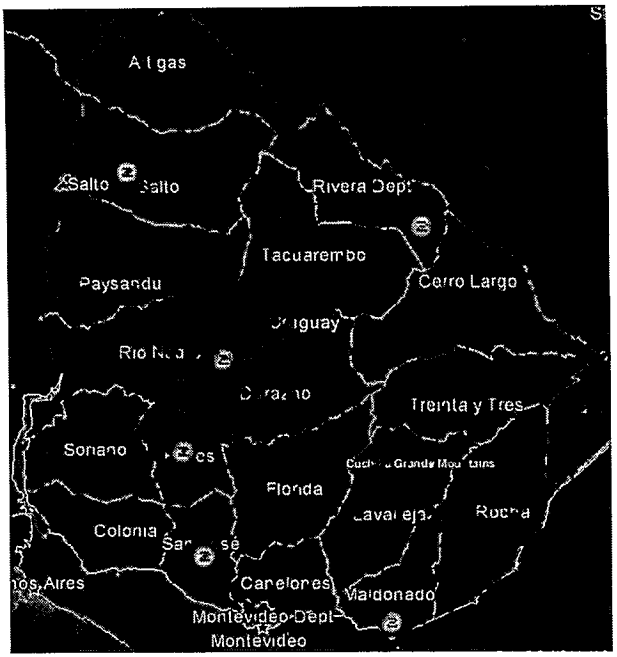


Figura 3.8: Asignaciones de TV para el canal 2 de VHF.

Canal	*Localidad*	*PER (kW)*	*HMA (m)*	*Latitud*	*Longitud*	*Cat.*	*Cont. de protección (km)*
2	Trinidad	0.1	30	-33.52	-56.898	C	11.997
2	Maldonado	0.1	30	-34.8386	-54.9425	C	11.997
2	Vichadero	0.1	30	-31.7769	-54.69	C	11.997
2	Biassini	3.5	60	-31.34	-57.3983	C	28.556
2	San José	0.5	60	-34.3394	-56.7136	C	18.103
2	Paso de los Toros(*)	100	-	-32.8113	-56.5125	A	67

Tabla 3.3: Cálculo de contornos de protección, estaciones en canal 2 de TV VHF[15].

[15](*) Para el caso de la estación de la localidad de Paso de los Toros se toma un contorno de protección equivalente a una estación de categoría A (67 km). Para este caso no se cuenta con parte de la información necesaria para realizar el cálculo, por lo que se toma el peor caso. En las estaciones de categoría A, HMA es de 120 m y PER es de 20 kW.

En la Fig. 3.8 se aprecia como casi la totalidad de los departamentos de Artigas, Paysandú, Soriano, Colonia, Florida, Canelones, Rivera, Cerro Largo, Treinta y Tres, Lavalleja y Rocha se encuentran fuera de los contornos de protección para el canal en cuestión. Un análisis similar puede realizarse para los demás canales de TV de VHF. En la Fig. 3.9 se muestra la ubicación de las estaciones de TV analógica asignadas según la URSEC.

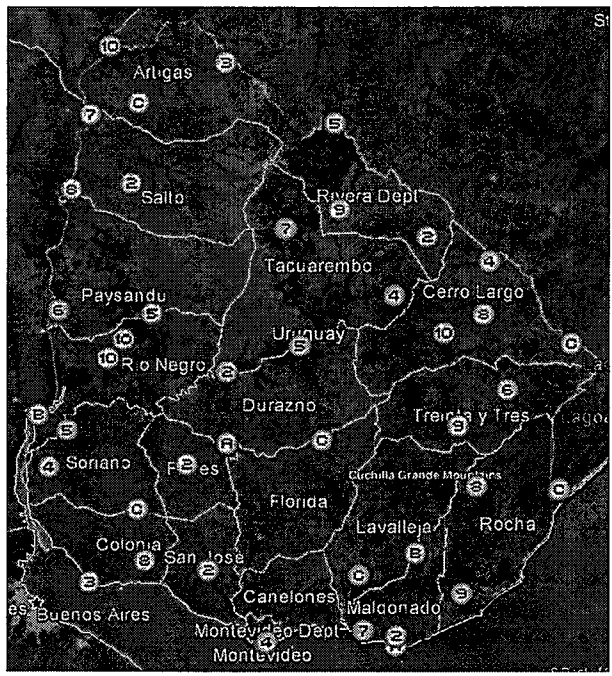


Figura 3.9: Asignaciones de TV analógica en Uruguay[16].

Espacios en blanco de FM

En la Resolución Nº 31/2001 del MERCOSUR se establecen los contornos de protección para las estaciones de radiodifusión FM según parámetros técnicos

[16]Los iconos numerados indican el canal VHF de la estación. Las letras A, B y C representan a los canales 11, 12 y 13.

que determinan su categoría. La relación de protección para este caso es de 54 $dB\mu/Vm$. Para el canal 227 de FM (frecuencia central 93.3 MHz) figuran en el listado de la URSEC tres estaciones. En la Tabla 3.4 se muestran para cada una de ellas los valores de altura y potencia, además de su categoría.

Estación	*HMA (m)*	*PER (kW)*	*Latitud*	*Longitud*	*Cat.*	*Cont. de Protección (km)*
FM Minas	75	1	-34.3750	-55.2350	F	22.518
FM Luna	60	1	-32.7033	-57.6317	F	20.367
FM Positiva	30	0.030	-33.2344	-56.0014	G	5.891

Tabla 3.4: Cálculo de contornos de protección, estaciones en canal 227 de FM.

En la Fig. 3.10 se muestran los contornos de protección asociados a cada estación del canal 227 de FM.

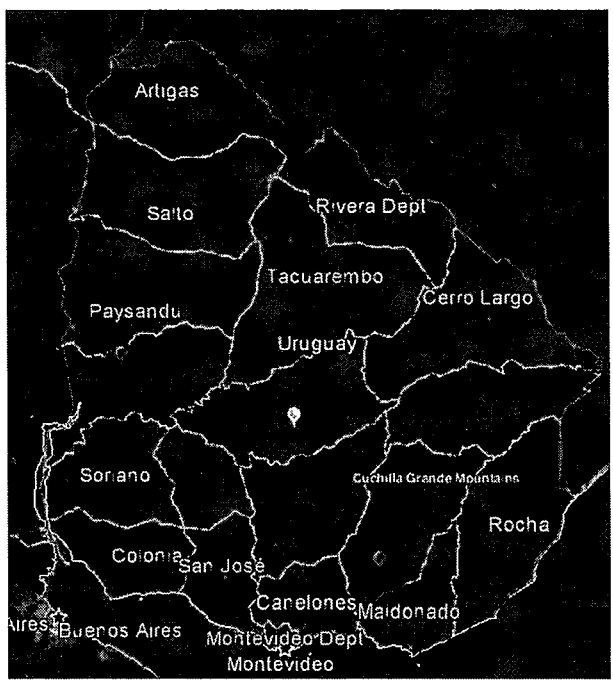


Figura 3.10: Asignaciones de FM para el canal 227.

La gran mayoría del territorio no se encuentra dentro del contorno de protección de las estaciones.

Finalmente, tanto para el caso de TV como para FM se puede extender el análisis si se toman en cuenta todos los canales y sus contornos de protección, conformando así un mapa teórico de espacios en blanco en el país[17]. Si se tiene en cuenta que el servicio de radiodifusión es uno de los que mayor cantidad de ERE tiene atribuido (ver Sección 3.1.2), estos espacios en blanco podrían conformar una oportunidad a futuro para un mejor aprovechamiento del recurso ERE en Uruguay.

3.3.3. La Dimensión Temporal del ERE

Estudios realizados por la FCC en el año 2002[18] ya identificaban que instantáneamente es utilizado solo un porcentaje relativamente pequeño del ERE total disponible para la operación de los sistemas de radiocomunicaciones, que la escasez del ERE se debe más a las políticas y prácticas para su administración que a una verdadera insuficiencia física del recurso y que es necesario diseñar e implementar tanto políticas como tecnologías que optimicen su uso.

A modo de ejemplo, se destaca lo realizado por el Observatorio de ERE de Microsoft (MSO)[19] en la ciudad de Washington, Estados Unidos. Éste publica medidas de la ocupación del ERE en base diaria, semanal y mensual. En la Fig. 3.11 se aprecia cómo algunas bandas son escasamente utilizadas al cabo de una semana. El comportamiento diario y mensual es similar.

[17]Este estudio se deriva exclusivamente de las asignaciones de canales publicadas por la URSEC.

[18]*Report of the Spectrum Efficiency Working Group*, noviembre 2002.

[19]La Fig. 3.11 y la Tabla 3.5 fueron extraídas de https://observatory.microsoftspectrum.com/.

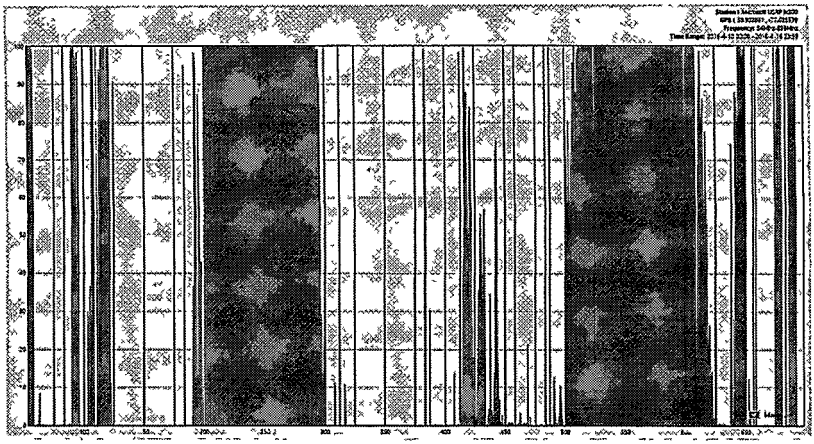


Figura 3.11: Ocupación máxima de la banda de 54-698 MHz, en base semanal, para Washington DC.

Se registran a continuación en la Tabla 3.5 los parámetros más importantes de la estación de medidas de Washington DC, los cuales podrían ser de utilidad para desarrollar una estación similar en Uruguay.

Latitud	38.902891
Longitud	-77.025539
Elevación sobre nivel del mar	97.5 m
Tipo de radio	Ettus USRP N200 WBX & SBX
Tipo de antena	MultiPolarized Super-M Ultra Base Station (25 MHz to 6 GHz)
Altura de antena	6 m
Tipo de cable	LMR-900
Largo del cable	12 m
Tipo de conector	Mini Circuits Splitter ZX10R-14-S+
Frecuencia Min	50 MHz
Frecuencia Max	2200 MHz

Tabla 3.5: Parámetros de estación del Observatorio de ERE de Microsoft.

3.4. Estadísticas

En esta sección se presentan estadísticas relacionadas con el sector de las telecomunicaciones, el cual incluye a las radiocomunicaciones. Se presentarán algunos

datos sobre la evolución que este sector ha experimentado en el país en los últimos años.

En la Fig. 3.12 se presenta una comparación del porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) que aportan diferentes sectores productivos en Uruguay. Allí se puede ver como las telecomunicaciones se encuentran en el mismo orden de magnitud que, por ejemplo, la industria de la energía, gas y agua sumadas.

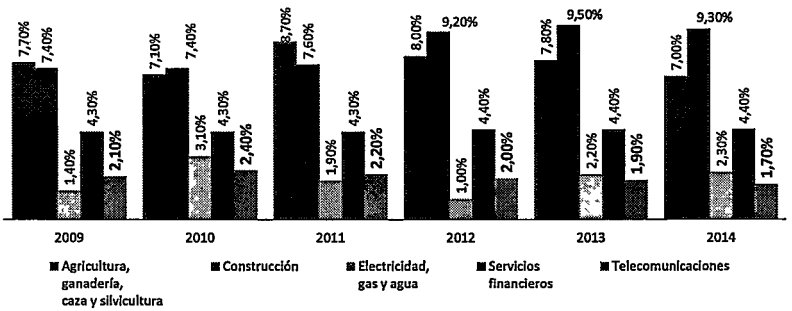


Figura 3.12: Comparación de participación en el PIB de diferentes sectores productivos [43].

Se observa en los datos de la Fig. 3.12 que el porcentaje aportado por las telecomunicaciones ha ido decreciendo en los últimos años, sin embargo esto no significa que el sector esté produciendo menos. Por el contrario, como se evidencia en el gráfico de la Fig. 3.13, el sector telecomunicaciones muestra un crecimiento sostenido de su PIB en la última década.

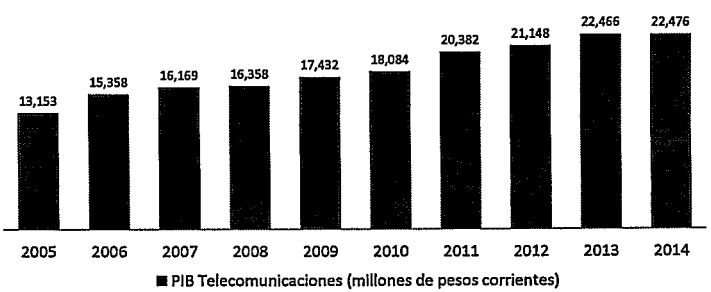


Figura 3.13: PIB del sector de telecomunicaciones en Uruguay [43].

Hasta ahora se mostraron estadísticas que aplican a las telecomunicaciones en su conjunto, a continuación se presentarán otros indicadores que revelan el crecimiento de un área de las radiocomunicaciones como son las telecomunicaciones móviles celulares. La cantidad de servicios telefónicos móviles en comparación con la cantidad de servicios telefónicos fijos se muestra en la Fig. 3.14. Mientras que los servicios fijos prácticamente no varían con los años el crecimiento de los servicios móviles es muy pronunciado, creciendo a un promedio de casi 280000 servicios nuevos al año en los últimos cinco años.

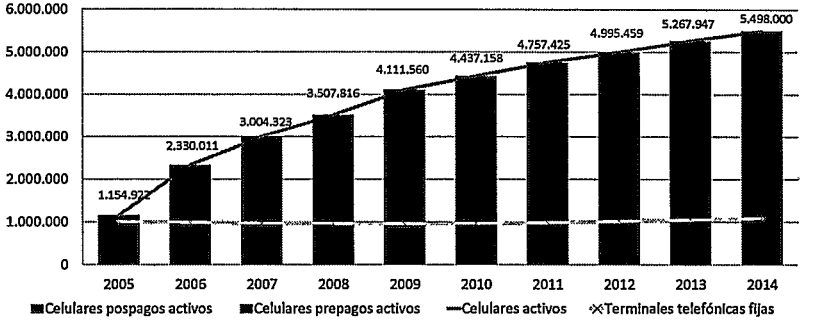


Figura 3.14: Número de servicios activos de telefonía móvil y fija[20].

También en la Fig. 3.14 se puede ver como dentro de la cantidad de servicios móviles activos, aumenta la cantidad de servicios pos-pagos (servicios con "contrato"), incluso la relación entre los servicios pre-pagos y pos-pagos muestra una tendencia de crecimiento hacia los pos-pagos. Esto podría ser interpretado como un aumento en el uso y la importancia que se le otorga a los sistemas móviles celulares. Es interesante detenerse en lo que es el acceso a datos por redes móviles celulares (en particular acceso de banda ancha), en la Fig. 3.15 se muestra la evolución del número de servicios móviles que cuentan con esta prestación.

[20]Fuente: Instituto Nacional de Estadística (INE), http://www.ine.gub.uy/web/guest/transporte-y-comunicaciones.

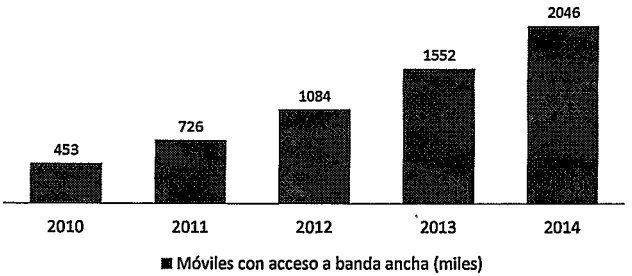


Figura 3.15: Número de servicios móviles con acceso a conexión de datos de banda ancha [43].

A mayor cantidad de demanda de servicios móviles y mayor número de usuarios, se requiere un aumento de la cantidad de ERE asignado al servicio. Las nuevas aplicaciones demandan mayores velocidades de conexión de datos, las nuevas tecnologías ocupan mayores anchos de banda (por ejemplo LTE puede ocupar hasta 20 MHz por portadora, contra los 5 MHz por portadora de UMTS) y el aumento constante de usuarios concentrados en zonas reducidas como centros urbanos, estadios o plazas, también requieren utilizar más portadoras para aumentar la capacidad de las redes.

A la luz de estas tendencias no sorprende que los servicios IMT de telecomunicaciones móviles hayan sido sujeto de identificación de grandes porciones de ERE en UHF (más precisamente 248 MHz) para su despliegue futuro, incluso siendo necesario para ello la reubicación en el ERE de otros servicios tales como los operadores de TVA.

Capítulo 4

Conclusiones

En cuanto a la gestión del ERE, se presentaron las estructuras y mecanismos internacionales y nacionales existentes para tal fin. Se concluye que las administraciones de los diferentes países y las organizaciones regionales e internacionales deben supervisar y administrar el uso del ERE para optimizar la asignación del recurso. Se destaca que el estudio de los antecedentes de la gestión de este recurso en Uruguay permitió comprender con mayor claridad la situación actual. Se espera que esta investigación sea una contribución para una mayor comprensión del marco regulatorio actual y de los aspectos que relacionan este marco con la política a implementar para potenciar el desarrollo de los servicios y beneficios brindados a través del ERE.

Al estudiar el uso actual del ERE en Uruguay, el principal obstáculo encontrado fue la falta de información de asignaciones de frecuencia, es decir la falta del llamado "Registro Nacional de Frecuencia". Es por eso que la información expuesta aquí acerca del uso del ERE en Uruguay es limitada. La información disponible no se encuentra ordenada en forma de registro o base de datos. En la planificación estratégica publicada por URSEC para los próximos años se incluye como una línea de acción la publicación de las asignaciones vigentes. Por lo anterior, la información obtenida no permite realizar afirmaciones certeras acerca del grado de utilización de las bandas de frecuencia estudiadas. Sin perjuicio de ello, se puede decir que los problemas de saturación y escasez de ERE que experimentan otros países no afectan actualmente a Uruguay, sin embargo, las tendencias mundiales indican que eventualmente dichos problemas se pueden presentar en la medida que los mecanismos de uso y de gestión no evolucionen para utilizar el recurso de forma más eficiente. Es importante destacar que Uruguay ya ha identificado im-

portantes cantidades de ERE para los servicios de comunicaciones móviles celulares (las IMT), las cuales representan uno de los servicios con mayor crecimiento y relevancia en los últimos tiempos. En el estudio realizado para el caso de las estaciones de TV y FM quedó en evidencia que Uruguay podría contar con espacios en blanco utilizables por nuevas tecnologías de uso oportunista basadas en Radio Cognitiva.

Bibliografía

[1] G. Sunkel y D. Trucco. Las tecnologías digitales frente a los desafíos de una educación inclusiva en américa latina. algunos casos de buenas prácticas. Technical report, 2012.

[2] Ericsson. Ericsson mobility report. Technical report, 2015.

[3] D. Vaillant. *Las políticas TIC en los sistemas educativos de América Latina: Caso Uruguay.* UNICEF, 2013. ISBN: 978-92-806-4702-0.

[4] Alan F. Chalmers. *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* SIGLO XXI DE ESPAÑA EDITORES S.A., 2000. ISBN: 84-323-0426-3.

[5] J. Fraile Mora. *Genios de la Ingeniería Eléctrica. De la A a la Z.* Fundación Iberdrola, 2006.

[6] Espacio Fundación Telefónica. *Historia de las telecomunicaciones.* Colección Histórico Tecnológica de Telefónica, 2013.

[7] M. Perroni. *Guía de estudio para una historia de los medios de transporte y comunicación en el Uruguay (1830-1930).* Proyectos de investigación LICCOM, 2013.

[8] A. Fedini. *Ondas electromagnéticas.* Enciclopedia Estudiantil, 1967.

[9] L. I. García. *Ondas. Página Interactiva.* http://www.sindominio.net/ash, 2004.

[10] E. Braun. *Electromagnetismo: de la ciencia a la tecnología*, volume ISBN: 968-16-3742-9. Fondo de la cultura económica (FCE), 1992.

[11] J. R. Reitz; F. J. Milford y R. W. Christy. *Fundamentos de la teoria electromagnética.* Addison Wesley Iberoamericana, 1996.

[12] J. L. Ordóñez. *Espectro electromagnético y espectro radioeléctrico.* Revista Digital de ACTA, 2013.

[13] J. L. Besada Sanmartín y M. Sierra Castañer. *Propagación de ondas en medio natural.* Universidad Politécnica de Madrid, 2013.

[14] C. A. Balanis. *Antenna Theory: Analysis and Design.* Wiley, 2005. ISBN: 978-0-471-66782-7.

[15] G. Silva y O. Barradas. *Telecomunicações Sistemas Radiovisibilidade.* Embratel, 1978.

[16] H. Herrick. *Radio Communications in the Digital Age VHF/UHF Technology, Volumen 2.* Harris Corporation, 2000.

[17] A. B. Carlson. *Communication Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communications - 4th edition.* McGraw-Hill, 2002.

[18] R. C. Pérez Vega; J. M. Zamanillo Sainz de la Maza y A. Casanueva López. *Sistemas de telecomunicación. Colección: Textos Universitarios.* Servicio de publicaciones de la Universidad de Cantabria, 2007.

[19] C. Schifer y R. Porto. *Telecomunicaciones. Marco Regulatorio.* Comisión Nacional de Comunicaciones, 1998.

[20] Equipo Coordinador e investigadores. *Desarrollo Mediático en Uruguay: diagnóstico, perspectivas y desafíos.* UNESCO, 2015.

[21] R. Radakovich; S. Escuder; J. Morales y M. Ponce. *Trazando un mapa de los medios digitales: Uruguay.* Fundaciones Open Society, 2013.

[22] D. Piotti. *Historia de las Telecomunicaciones en el Uruguay.* Ediciones de la Guía Financiera, 1997.

[23] A.Pereyra. *Subasta de telefonía móvil: ¿una experiencia inconclusa en Uruguay?* Documento electrónico, 2002.

[24] A. Pereyra. *Competencia en telefonía móvil en Uruguay: diseño de subastas, contratos y marco institucional.* Documento electrónico, 2003.

[25] *Reglamento de Radiocomunicaciones.* UIT, 2012. ISBN: 978-92-61-14023-6.

[26] McLean Foster y Co. en colaboración con M. Cave y R. W. Jones. *Gestión del espectro radioeléctrico.* Publicación de UIT, 2012. Módulo 5: Conjunto de herramientas para la reglamentación de las TIC.

[27] UIT-R. *Manual de comprobación técnica del espectro.* Oficina de radiocomunicaciones UIT, 2011.

[28] G. Gómez Germano. *La reforma de la regulación de los servicios de comunicación audiovisual.* Fundación Friedrich Ebert en Uruguay, 2013.

[29] Hughes and Hughes Abogados. *Hughes: Ley medios 19.307.* documento electrónico, 2013.

[30] G. Gómez Germano y A. L. Rivoir. *Regulación e Inversión en Telecomunicaciones: Estudio de Caso para Uruguay.* Documento electrónico, 2008. Disponible en: http://dirsi.net/web/.

[31] G. Gómez Germano y A. L. Rivoir. *Economía Industrial núm. 393: Regulación y diseño de mercados. Las subastas del espectro radioeléctrico en España.* Ministerio de Industria, Energía y Turismo del Gobierno de España, 2014.

[32] C. A. Afonso. *Uso del espectro en América Latina.* Publicación de APC, 2011.

[33] Foro latinoamericano de entes reguladores de telecomunicaciones (Regulatel). *Modelos de regulación en el sector de las telecomunicaciones y su relación con la aplicación del derecho de la competencia en los países miembros de Regulatel.* Documento electrónico, 2015. Versión borrador del Anexo 10 de la 18º Asamblea Plenaria Regulatel.

[34] A. Elbittar. *Asignación y Administración del Espectro Radioeléctrico en Países de Centroamérica y su Impacto en el Desarrollo del Sector de Servicios de Telecomunicación Móvil.* Documento electrónico. Diálogo Regional sobre Sociedad de la Información (DRSI), 2010.

[35] Esta publicación fue realizada como parte de la iniciativa *Espectro abierto para el desarrollo* en el marco del proyecto *Action Research Network* (ARN) de la *Asociación para el Progreso de las Comunicaciones* (APC) con apoyo del Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo (IDRC). *Uso y regulación del espectro en América Latina.* Editorial Quipus, CIESPAL, 2012. Estudios de caso de Argentina, Brasil, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela. ISBN: 978-92-95096-63-9.

[36] Grupo de Regulación de las Telecomunicaciones (GRETEL). *La evolución de la gestión del espectro radioeléctrico.* Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicaciones (COIT), 2007. ISBN: 978-84-935049-3-9.

[37] R. Bustillo. *Un modelo institucional para la regulación en materia de convergencia tecnológica en América Latina.* Naciones Unidas, 2011.

[38] S. Srikanteswara y B. Badic M. Mueck. *Spectrum Sharing: Licensed Shared Access (LSA) and Spectrum Access System (SAS).* White paper. Intel, 2015.

[39] Reporte elaborado por Deloitte LLP para GSMA. *The Impact of Licensed Shared Use of Spectrum.* GSMA, 2014.

[40] Electronic Communications Committee (CEPT). *ECC Report 205.* CEPT, 2014. Disponible en: http://www.erodocdb.dk/doks/doccategoryecc.aspx?doccatid=4.

[41] Resolución 102/2012: Clasificación de información reservada. *URSEC*, julio 2012. Disponible en: https://www.gub.uy/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/institucional/normativa/resolucion-1022012.

[42] Decreto 114/003: Reglamento de administración y control del espectro radioeléctrico. *Presidencia de la República Oriental del Uruguay*, marzo 2003.

[43] Evolución del sector telecomunicaciones en Uruguay. *URSEC*, junio 2015. Disponible en: https://www.gub.uy/unidad-reguladora-servicios-comunicaciones/datos-y-estadisticas/estadisticas/informes-de-mercado-del-sector-telecomunicaciones.

Apéndice A

Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias en Uruguay

	Servicio		*Servicio*
1	Móvil Aeronáutico	16	Meteorología por Satélite
2	Radionavegación Aeronáutica	17	Radioastronomía
3	Radioaficionados	18	Radiolocalización por Satélite
4	Radiodifusión	19	Operaciones Espaciales
5	Fijo	20	Investigación Espacial
6	Móvil Terrestre	21	Fijo por Satélite
7	Móvil Marítimo	22	Móvil por Satélite
8	Radionavegación Marítima	23	No Atribuible
9	Ayudas a la Meteorología	24	Móvil salvo móvil aeronáutico
10	Móvil	25	Fijo salvo fijo aeronáutico
11	Radiolocalización	26	Radionavegación por satélite
12	Radionavegación	27	Radioaficionados por satélite
13	Frecuencia Patrón y Señales Horarias	28	Radiodifusión por satélite
14	Exploración de la Tierra por Satélite	29	Radiodeterminación
15	Servicio entre Satélites		

Tabla A.1: Referencia CNAF (año 2017).

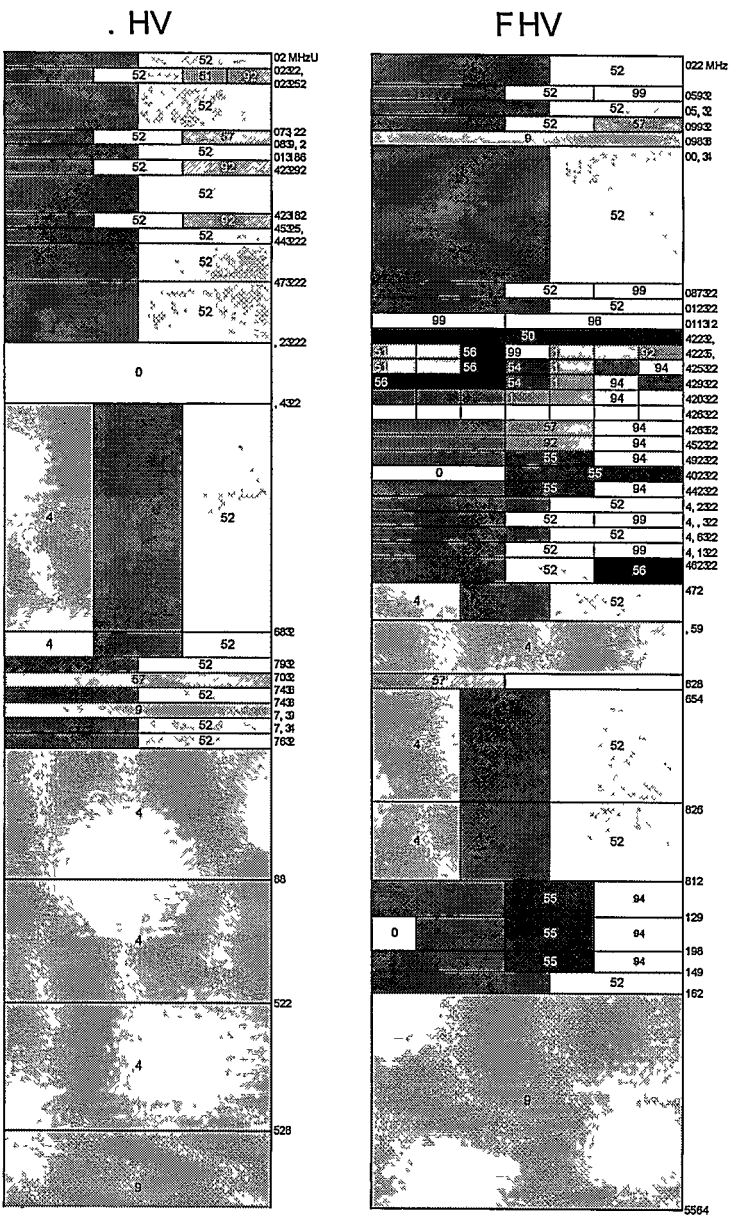


Figura A.1: Cuadro de atribución de URSEC (1).

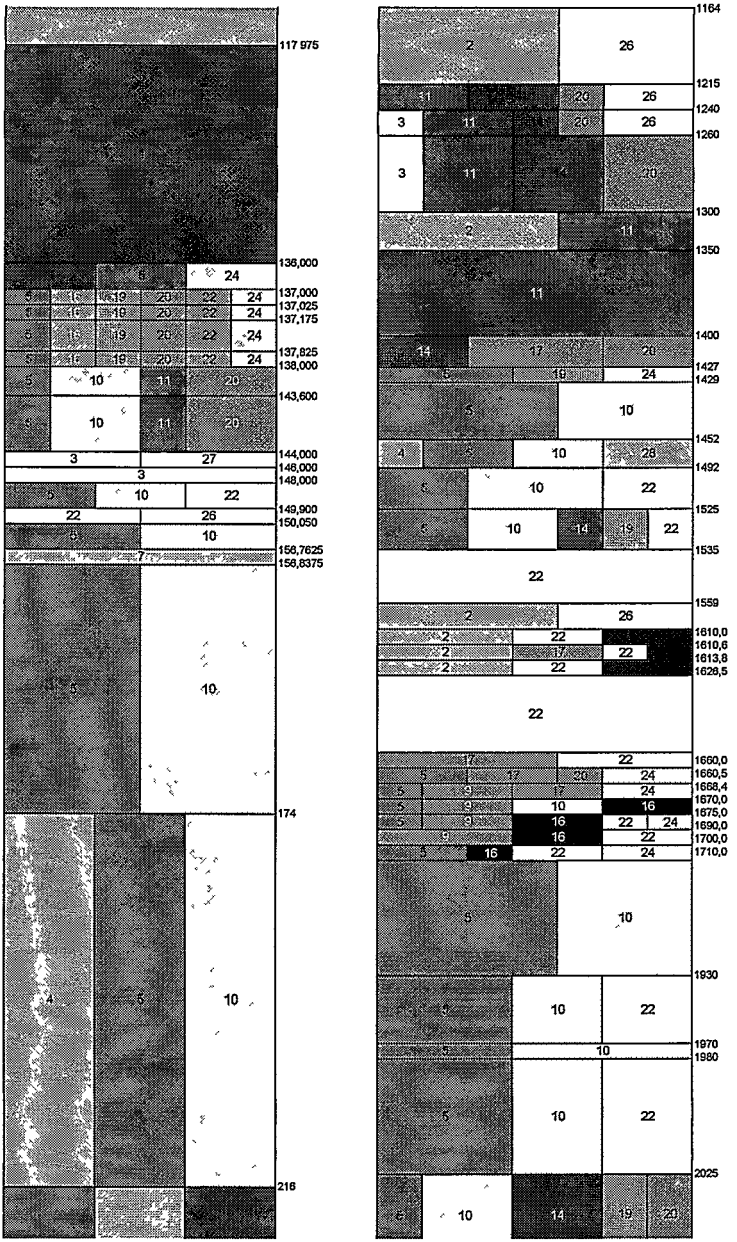


Figura A.2: Cuadro de atribución de URSEC (2).

117

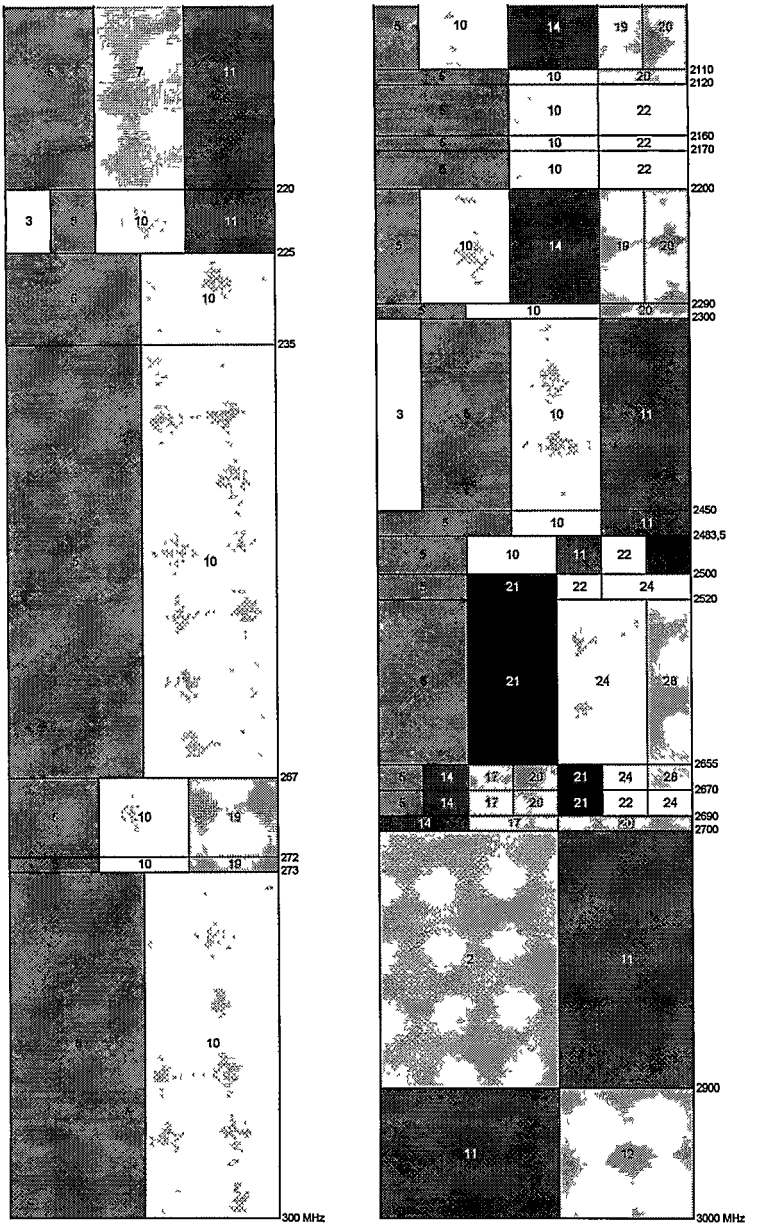


Figura A.3: Cuadro de atribución de URSEC (3).

Índice de figuras

1.1. Onda mecánica propagándose en una cuerda. 21

1.2. Onda longitudinal y onda transversal. 21

1.3. Crestas, valles y amplitud de una onda periódica. 22

1.4. Longitud de onda y frecuencia en una onda periódica. 23

1.5. Relación entre longitud de onda y frecuencia. 24

1.6. Forma de onda compuesta. 24

1.7. Representación de una señal en el tiempo y en la frecuencia[1]. . . . 25

1.8. Onda electromagnética[2]. 26

1.9. Espectro electromagnético[3]. 28

1.10. Características bandas de radiofrecuencia. 31

1.11. Mecanismos de propagación de una onda[4]. 32

1.12. Esquema de un sistema de comunicación simplificado. 36

1.13. Conversión de frecuencia. 38

1.14. Esquema de modulación por conversión de frecuencia. 39

2.1. Regiones UIT[5]. 60

2.2. Porción del Cuadro de atribución de bandas de frecuencia[6]. 61

3.1. Cuadro de atribución de URSEC. Referencias: Tabla A.1. 85

3.2. Cantidad de ERE atribuido por servicio en Uruguay (MHz). 86

3.3. Cuadro comparativo entre atribución por servicio de UIT y URSEC. 89

3.4. Comparación de uso del ERE para diferentes sistemas de TV. . . . 91

3.5. Asignaciones recopiladas de página web de la URSEC y POLIMATE. 94

3.6. Utilización de bandas de frecuencia según datos brindados por la URSEC. 95

3.7. Área primaria de servicio de una estación de radiodifusión. 98

3.8. Asignaciones de TV para el canal 2 de VHF. 100

3.9. Asignaciones de TV analógica en Uruguay[7]. 101

3.10. Asignaciones de FM para el canal 227. 102

3.11. Ocupación máxima de la banda de 54-698 MHz, en base semanal, para Washington DC. 104

3.12. Comparación de participación en el PIB de diferentes sectores productivos. 105

3.13. PIB del sector de telecomunicaciones en Uruguay. 105

3.14. Número de servicios activos de telefonía móvil y fija[8]. 106

3.15. Número de servicios móviles con acceso a conexión de datos de banda ancha. 107

A.1. Cuadro de atribución de URSEC (1). 116

A.2. Cuadro de atribución de URSEC (2). 117

A.3. Cuadro de atribución de URSEC (3). 118

Índice de tablas

1.1. Bandas de frecuencia[9]. 30

1.2. Características bandas de frecuencia. 35

2.1. Adjudicación, Atribución y Asignación. 63

2.2. Servicios que utilizan el ERE. 67

2.3. Clasificación de usos del ERE. 69

2.4. Organismos Reguladores en Latino América[10]. 79

3.1. Comparación entre atribución de UIT y atribución realizada por URSEC. 88

3.2. Información comparativa de las tecnologías celulares aplicadas en Uruguay. 92

3.3. Cálculo de contornos de protección, estaciones en canal 2 de TV VHF[11]. 100

3.4. Cálculo de contornos de protección, estaciones en canal 227 de FM 102

3.5. Parámetros de estación del Observatorio de ERE de Microsoft. . . 104

A.1. Referencia CNAF (año 2017). 115

Glosario

AFSCA Autoridad Federal de Servicios de Comunicación Audiovisual. 78

AM modulación de amplitud, en inglés Amplitude Modulation. 56, 57, 86

ANATEL Agencia Nacional de Telecomunicaciones. 78

ANE Agencia Nacional del Espectro. 78

ANTEL Administración Nacional de Telecomunicaciones. 52, 53, 58, 75

B Campo Magnético. 26

CCITT Comité Consultivo Internacional de Telegrafía y Telefonía. 45, 46

CCM Comisión de Comercio del MERCOSUR. 50

CCPI Comité Consultivo Permanente I. 49, 50

CCPII Comité Consultivo Permanente II. 49, 50

CDMA *Code Division Multiple Access*. 91

CEPT Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones. 82

CHAI Comisión Honoraria Asesora Independiente. 74

CHARC Consejo Honorario Asesor de Radiodifusión Comunitaria. 73, 74

CHASCA Comisión Honoraria Asesora de Servicios de Comunicación Audiovisual. 74

CITEL Comisión Interamericana de Telecomunicaciones. 49, 50, 77

CMC Consejo del Mercado Común. 50

CMDT Conferencia Mundial de Desarrollo de las Telecomunicaciones. 47

CMR Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones. 47, 48

CMR-19 Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2019. 47

CMR-15 Conferencia Mundial de Radiocomunicaciones del año 2015. 47

CMTI Conferencia Mundial de Telecomunicaciones Internacionales. 47

CNAF Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. 68, 74, 78, 83, 84, 85, 88, 115, 121

CNC Comisión Nacional de Comunicaciones. 78

CNE Comité Nacional del Espectro. 78

COM/CITEL Comité Directivo Central. 49, 50

CONATEL Venezuela Comisión Nacional de Telecomunicaciones. 78

CONATEL Ecuador Consejo Nacional de Telecomunicaciones. 78

CRR Conferencias Regionales de Radiocomunicaciones. 47

CTAP Comisión Temática de Asuntos Postales. 51

CTRc Comisión Temática de Radiocomunicaciones. 51

CTRd Comisión Temática de Radiodifusión. 51

CTSPT Comisión Temática de Servicios Públicos de Telecomunicaciones. 51

DINATEL Dirección Nacional de Telecomunicaciones y Servicios de Comunicación Audiovisual. 54, 55, 56, 57, 58

DNC Dirección Nacional de Comunicaciones. 53, 54

DS-SS *Direct Sequence Spread Spectrum.* 91

DSA acceso dinámico al espectro, en inglés *Dynamic Spectrum Access.* 81

E Campo Eléctrico. 26

EDGE *Enhanced Data rates for GSM Evolution.* 91

EHF extremadamente alta frecuencia, en inglés *Extremely High Frequency*. 32

ERE Espectro Radioeléctrico. 13, 14, 17, 20, 26, 29, 30, 35, 41, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 79, 80, 81, 82, 83, 85, 86, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 96, 97, 99, 103, 104, 107, 109, 120, 121

ETSI instituto europeo de normas de telecomunicaciones, en inglés *The European Telecommunications Standards Institute*. 81

FCC comisión federal de comunicaciones, en inglés *Federal Communications Commission* (EE.UU.). 78, 99, 103

FDD *Frequency Division Duplex*. 91

FM modulación de frecuencia, en inglés *Frequency Modulation*. 37, 38, 56, 57, 63, 86, 101, 102, 103, 109, 120, 121

GMC Grupo Mercado Común. 50, 51, 90

GMSK *Gaussian Minimum Shift Keying*. 91

GPRS *General Packet Radio Service*. 91

HD -alta definición, en inglés *High Definition*. 91

HF alta frecuencia, en inglés *High Frequency*. 32

HMA altura media de antena. 99, 100

IARP permiso internacional de radioaficionado emitido por la Administración de Telecomunicaciones, en inglés *International Amateur Radio Permit*. 72

ICM industriales, científicas y médicas. 65, 76, 97

IDT Índice de Desarrollo de las TIC. 43

IEEE Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos, en inglés *Institute of Electrical and Electronics Engineers*. 76

IFP Instancia Final del Procedimiento. 75

IIP Instancia Inicial del Procedimiento. 75

IMPO Dirección Nacional de Impresiones y Publicaciones Oficiales. 92

IMT telecomunicaciones móviles internacionales, en inglés *International Mobile Telecommunications*. 75, 93, 107, 109

INE Instituto Nacional de Estadística. 106

ISDB-T difusión de servicios digitales integrados, en inglés *Integrated Services Digital Broadcasting*. 91

LF baja frecuencia, en inglés *Low Frequency*. 32

LSA Licencia de acceso compartido, en inglés *Licensed Shared Access*. 81, 82

LTE *Long Term Evolution*. 91, 107

MERCOSUR Mercado Común del Sur. 50, 51, 62, 63, 77, 89, 90, 99, 101

MF frecuencia media, en inglés *Medium Frequency*. 32

MIEM Ministerio de Industria, Energía y Minería. 51, 54, 55, 56

MIFR registro maestro internacional de frecuencias, en inglés *Master International Frequency Register*. 46

MiniCom Ministerio de Comunicaciones. 78

MinTIC Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. 78

MSO Observatorio de Espectro de Microsoft, en inglés *Microsoft Spectrum Observatory*. 103

MTC Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 78

NGN redes de nueva generación, en inglés *Next Generation Networks*. 90

NRI indicador de disposición de red, en inglés *Networked Readiness Index*. 14

OEA Organización de los Estados Americanos. 49

OEM Onda Electromagnética. 14, 17, 20, 22, 25, 26, 44

OFDMA *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*. 91

OMC Organización Mundial del Comercio. 77

OSIPTEL Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. 78

PE Poder Ejecutivo. 51, 53, 54, 55, 56, 57, 67, 69, 70, 73, 74, 77

PER Potencia Efectiva Radiada. 99, 100

PIB Producto Interno Bruto. 105

POLIMATE Políticas, Medios Audiovisuales, Tecnologías y Espectro. 92

QAM *Quadrature Amplitude Modulation.* 91

QoS calidad de servicio, en inglés *Quality of Service.* 81

QPSK *Quadrature Phase Shift Keying.* 91

RFID Identificación por radiofrecuencia, en inglés *Radio Frequency Identification.* 32

RNF Registro Nacional de Frecuencias. 96

RR Reglamento de Radiocomunicaciones. 29, 47, 48, 57, 58, 57, 58, 59, 60, 59, 61, 63, 76, 80, 83, 84, 86, 87, 88

RSPG Grupo de política del espectro radioeléctrico, en inglés *Radio Spectrum Policy Group.* 81

SC-OFDMA *Single Carrier Orthogonal Frequency Divison Multiple Access.* 91

SECOM Secretaría de Comunicaciones. 78

SGT Sub-Grupos de Trabajo. 50, 51

SHF super alta frecuencia, en inglés *Super High Frequency.* 32

SUPERTEL Superintendencia de Telecomunicaciones. 78

TDMA *Time Division Multiple Access.* 91

TIC Tecnologías de la Información y las Comunicaciones. 13, 14, 43, 45, 46, 47, 49, 50, 56

TV televisión. 57, 62, 91, 99, 100, 101, 103, 109, 120, 121

TVA televisión para abonados. 96, 107

TVD televisión digital. 91

Udelar Universidad de la República. 7

UHF frecuencia ultra alta, en inglés *Ultra High Frequency*. 32, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 92, 93, 96, 97, 107

UIT Unión Internacional de Telecomunicaciones. 29, 30, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 57, 58, 59, 62, 63, 68, 76, 77, 84, 86, 87, 88, 112, 120, 121

UIT-D sector de desarrollo de las telecomunicaciones de la UIT. 46, 47

UIT-T sector de normalización de las telecomunicaciones de la UIT. 46

UIT-R sector de radiocomunicaciones de la UIT. 46, 47, 48, 58, 75, 112

UMTS *Universal Mobile Telecommunications System*. 107

URSEC Unidad Reguladora de Servicios de Comunicaciones. 48, 50, 51, 53, 54, 55, 56, 58, 61, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 83, 84, 86, 87, 88, 92, 93, 95, 96, 99, 100, 101, 103, 109, 115, 117, 118, 119, 120, 121

UTE administración nacional de Usinas y Transmisiones Eléctricas. 52

VHF frecuencia muy alta, en inglés *Very High Frequency*. 32, 62, 83, 84, 85, 86, 88, 89, 92, 93, 96, 97, 99, 100, 101, 120, 121

VLF frecuencia muy baja, en inglés *Very Low Frequency*. 32

WS espacios en blanco, en inglés *White Spaces*. 99

Seguramente habrán oído hablar del espectro radioeléctrico (ERE) a raíz de su demanda y usos aplicados a las tecnologías de comunicación. Para poder acceder a su usufructo, se subastan bandas para telefonía celular, o se asignan lugares a canales de televisión digital, o se discute si una radio de FM está o no autorizada, o si hay lugar disponible para radios comunitarias. Con el auge de la movilidad, en que cada celular recibe y transmite datos, las comunicaciones tienden a ser inalámbricas, con lo que hay mayor demanda de sitio en ese "espectro". La telefonía celular y la Wi-Fi son experiencias cotidianas de uso de la comunicación a través del ERE. En entornos con alto uso, por ejemplo en un espectáculo multitudinario, pueden haber sentido la dificultad en establecer comunicaciones porque no había lugar en el espectro. También hay comunicaciones en las que no actuamos directamente, entre máquinas, para mediciones o controles que demandan uso del mismo espectro.

Pero, ¿qué es el espectro radioeléctrico? ¿Cómo algo inmaterial puede convertirse en escaso? ¿De quién es el espectro? ¿Se puede vender, comprar o alquilar su uso? ¿Hay lugar para todos? ¿Cómo se regula y gestiona?

Este libro aspira a responder esas y otras preguntas sobre un recurso natural invisible pero limitado, considerado de uso público y que puede volverse escaso. También se verán las reglas que se siguen para su asignación a diferentes aplicaciones, así como las tecnologías que permiten usarlo con mayor eficiencia, lo que es clave en el desarrollo económico, productivo, cultural y humano. Este libro está destinado a los ciudadanos interesados en el tema, buscando difundir la cultura científica, que también es cultura aunque a veces se la olvida, y dar elementos para un debate público bien informado.

Cumple con el objetivo expresado en el Artículo 2 de la Ley Orgánica de la Universidad de la República, que dice: "*Le incumbe asimismo, a través de todos sus órganos, en sus respectivas competencias, acrecentar, difundir y defender la cultura; impulsar y proteger la investigación científica y las actividades artísticas y contribuir al estudio de los problemas de interés general y propender a su comprensión pública; defender los valores morales y los principios de justicia, libertad, bienestar social, los derechos de la persona humana y la forma democrático-republicana de gobierno*".

Para poder participar de un debate productivo sobre ese recurso de todos es necesario comprender la naturaleza del ERE, cómo se lo gestiona y cuál es su utilización actual; lo cual en general reduce el debate a un grupo de especialistas en el área o a las autoridades del gobierno. Este libro aborda el desafío de explicar estos aspectos evitando tecnicismos, con el objetivo de permitir a no especialistas del área poder abordar la discusión de estos temas.

ISBN 978-9974-94-703-0