

# **Recomendación UIT-R RA.314-11**

## **(12/2023)**

Serie RA: Radioastronomía

**Bandas de frecuencias preferidas para  
las mediciones astronómicas por  
debajo de 1 THz**



## Prólogo

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

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

## Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

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

### Series de las Recomendaciones UIT-R

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

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

*Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.*

Publicación electrónica  
Ginebra, 2024

© UIT 2024

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

## RECOMENDACIÓN UIT-R RA.314-11

**Bandas de frecuencias preferidas para las mediciones radioastronómicas por debajo de 1 THz**

(Cuestión UIT-R 145/7)

(1953-1956-1959-1966-1970-1974-1978-1982-1986-1990-1992-2002-2003-2023)

**Cometido**

Esta Recomendación proporciona información sobre las bandas de frecuencias preferidas para las mediciones radioastronómicas hasta 1 000 GHz. En los Cuadros 1 y 2 se enumeran las bandas de frecuencias asociadas a transiciones atómicas y moleculares; en el Cuadro 3 se enumeran las bandas de frecuencias preferidas para las observaciones de las emisiones del continuum radioeléctrico; en el Cuadro 4 se enumeran las bandas de frecuencias de varias aplicaciones específicas del hidrógeno neutro desplazado al rojo. Las figuras del Anexo ilustran los procesos naturales que determinan las bandas de frecuencias preferidas para la radioastronomía.

**Palabras clave**

Radioastronomía, física fundamental, transiciones atómicas y moleculares, emisión del continuum, transparencia atmosférica

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

*considerando*

- a) que el progreso de la radioastronomía ha conducido a importantes adelantos tecnológicos, especialmente en las técnicas de recepción, y ha mejorado el conocimiento de las limitaciones fundamentales del ruido radioeléctrico que tienen gran importancia para las radiocomunicaciones, y que ese progreso deja prever otros resultados importantes;
- b) que, los avances de la radioastronomía exigen la protección de ciertas bandas de frecuencias contra la interferencia;
- c) que la Unión Astronómica Internacional (UAI), mantiene y actualiza regularmente la lista de rayas espectrales de máxima importancia para la radioastronomía;
- d) que los radioastrónomos estudian las rayas espectrales tanto en bandas atribuidas al servicio de radioastronomía como en la medida en que la utilización del espectro por otros servicios lo permite, fuera de las bandas atribuidas, y que ello ha dado lugar a la detección de miles de rayas espectrales como se indica en la Fig. 1 del Anexo 1;
- e) que debe tenerse en cuenta el desplazamiento de las frecuencias de las rayas por efecto Doppler, debido al movimiento relativo de las fuentes y del observador;
- f) que las frecuencias observadas de las rayas espectrales atómicas o moleculares muy desplazadas al rojo (por efecto Doppler) procedentes de las regiones más lejanas del universo son significativamente más bajas que sus frecuencias en reposo, como se muestra en el Cuadro 4 y en la Fig. 3 del Anexo 1;
- g) que algunas bandas de frecuencias han sido atribuidas para las observaciones del continuum y que las posiciones exactas de estas bandas en el espectro carecen de importancia determinante, como se muestra en la Fig. 4 del Anexo 1, pero que sus frecuencias centrales deben tener una relación no mayor de dos a uno, teniendo en cuenta la anchura de las ventanas atmosféricas pertinentes (véase la Fig. 1 del Anexo 1);

h) que los radioastrónomos han efectuado útiles observaciones astronómicas desde la superficie de la Tierra en todas las ventanas atmosféricas disponibles (véase la Fig. 1 del Anexo 1) desde 2 MHz hasta 1 000 GHz y frecuencias superiores;

i) que la técnica de la radioastronomía espacial, que supone la utilización de radiotelescopios situados en plataformas espaciales, proporciona acceso a todo el espectro radioeléctrico por encima de unos 10 kHz, incluidas partes del espectro no accesibles desde la Tierra debido a la absorción en la atmósfera;

j) que ciertos tipos de observaciones interferométricas de alta resolución exigen la recepción simultánea, en la misma frecuencia radioeléctrica, con sistemas receptores situados en países o en continentes distintos, o en plataformas espaciales;

k) que las Conferencias Administrativas Mundiales de Radiocomunicaciones y las Conferencias Mundiales de Radiocomunicaciones han mejorado las atribuciones de frecuencias al servicio de radioastronomía pero que en muchas bandas, particularmente en las compartidas por otros servicios, puede que siga siendo necesario planificar cuidadosamente la protección de la radioastronomía,

*observando*

que las bandas preferidas entre 1 y 3 THz figuran en la Recomendación UIT-R RA.1860,

*recomienda*

1 que las administraciones se encarguen de asegurar la máxima protección posible a las frecuencias utilizadas por los radioastrónomos en sus propios países y en los países vecinos;

2 que se dedique especial atención a establecer o mantener una protección adecuada para las bandas de frecuencias enumeradas en los Cuadros 1 y 2, que contienen las frecuencias en reposo y las frecuencias con desplazamiento por efecto Doppler de las líneas espectrales más importantes en astrofísica, identificadas por la Asamblea General de la UAI y del Cuadro 3 que contiene las bandas atribuidas al servicio de radioastronomía que son preferibles para las observaciones del continuum;

3 que las administraciones ofrezcan asistencia para la coordinación de observaciones de rayas espectrales en bandas no atribuidas a la radioastronomía.

#### CUADRO 1

#### Rayas de radiofrecuencia de máxima importancia para la radioastronomía a frecuencias por debajo de 275 GHz

Sustancia	Frecuencia de reposo	Banda mínima propuesta	Notas <sup>(1)</sup>
Deuterio (D I)	327,384 MHz	327,0-327,7 MHz	
Hidrógeno (H I)	1 420,406 MHz	1 370,0-1 427,0 MHz	(2), (3)
Radical hidroxilo (OH)	1 612,231 MHz	1 606,8-1 613,8 MHz	(4)
Radical hidroxilo (OH)	1 665,402 MHz	1 659,8-1 667,1 MHz	(4)
Radical hidroxilo (OH)	1 667,359 MHz	1 661,8-1 669,0 MHz	(4)
Radical hidroxilo (OH)	1 720,530 MHz	1 714,8-1 722,2 MHz	(3), (4)
Metilidino (CH)	3 263,794 MHz	3 252,9-3 267,1 MHz	(3), (4)
Metilidino (CH)	3 335,481 MHz	3 324,4-3 338,8 MHz	(3), (4)
Metilidino (CH)	3 349,193 MHz	3 338,0-3 352,5 MHz	(3), (4)
Formaldehído (H <sub>2</sub> CO)	4 829,660 MHz	4 813,6-4 834,5 MHz	(3), (4)
Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	6 668,518 MHz	6 661,8-6 675,2 MHz	(3)

CUADRO 1 (continuación)

Sustancia	Frecuencia de reposo	Banda mínima propuesta	Notas <sup>(1)</sup>
Helio ( $^3\text{He}^+$ )	8 665,650 MHz	8 657,0-8 674,3 MHz	(3), (6)
Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )	12,178 GHz	12,17-12,19 GHz	(3), (6)
Formaldehído ( $\text{H}_2\text{CO}$ )	14,488 GHz	14,44-14,50 GHz	(3), (4)
Ciclopropenilideno ( $\text{C}_3\text{H}_2$ )	18,343 GHz	18,28-18,36 GHz	(3), (4), (6)
Vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ )	22,235 GHz	22,16-22,26 GHz	(3), (4)
Amoníaco ( $\text{NH}_3$ )	23,694 GHz	23,61-23,71 GHz	(4)
Amoníaco ( $\text{NH}_3$ )	23,723 GHz	23,64-23,74 GHz	(4)
Amoníaco ( $\text{NH}_3$ )	23,870 GHz	23,79-23,89 GHz	(4)
Monóxido de azufre (SO)	30,002 GHz	29,97-30,03 GHz	(6)
Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )	36,169 GHz	36,13-36,21 GHz	(6)
Monóxido de silicio (SiO)	42,519 GHz	42,47- 42,57 GHz	(6), (8)
Monóxido de silicio (SiO)	42,821 GHz	42,77-42,86 GHz	
Monóxido de silicio (SiO)	43,122 GHz	43,07-43,17 GHz	
Monóxido de silicio (SiO)	43,424 GHz	43,37- 43,47 GHz	
Monosulfuro bicarbono (CCS)	45,379 GHz	45,33-45,44 GHz	(6)
Monosulfuro de carbono (CS)	48,991 GHz	48,94-49,04 GHz	
Oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ )	61,1 GHz	56,31-63,06 GHz	(5), (6), (7)
Vapor de agua de deuterio (HDO)	80,578 GHz	80,50-80,66 GHz	
Ciclopropinilideno ( $\text{C}_3\text{H}_2$ )	85,339 GHz	85,05-85,42 GHz	
Monóxido de silicio (SiO)	86,243 GHz	86,16-86,33 GHz	
Formilio ( $\text{H}^{13}\text{CO}^+$ )	86,754 GHz	86,66-86,84 GHz	
Monóxido de silicio (SiO)	86,847 GHz	86,76-86,93 GHz	
Radical etinilo ( $\text{C}_2\text{H}$ )	87,3 GHz	87,21-87,39 GHz	(5)
Ácido cianhídrico (HCN)	88,632 GHz	88,34-88,72 GHz	(4)
Formilio ( $\text{HCO}^+$ )	89,189 GHz	88,89-89,28 GHz	(4)
Isocianuro de hidrógeno (HNC)	90,664 GHz	90,57-90,76 GHz	
Diazenilio ( $\text{N}_2\text{H}^+$ )	93,174 GHz	93,07-93,27 GHz	
Monosulfuro de carbono (CS)	97,981 GHz	97,65-98,08 GHz	(4)
Monóxido de azufre (SO)	99,300 GHz	99,98-100,18 GHz	
Metilacetileno ( $\text{CH}_3\text{C}_2\text{H}$ )	102,5 GHz	102,39-102,60 GHz	(5)
Metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ )	107,014 GHz	106,91-107,12 GHz	
Monóxido de carbono ( $\text{C}^{18}\text{O}$ )	109,782 GHz	109,67-109,89 GHz	
Monóxido de carbono ( $^{13}\text{CO}$ )	110,201 GHz	109,83-110,31 GHz	(4)
Monóxido de carbono ( $\text{C}^{17}\text{O}$ )	112,359 GHz	112,25-112,47 GHz	
Radical cianuro (CN)	113,5 GHz	113,39-113,61 GHz	(5)
Monóxido de carbono (CO)	115,271 GHz	114,88-115,39 GHz	(4)
Oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ )	118,750 GHz	118,63-118,87 GHz	(6), (7)
Formaldehído ( $\text{H}_2^{13}\text{CO}$ )	137,450 GHz	137,31-137,59 GHz	
Formaldehído ( $\text{H}_2\text{CO}$ )	140,840 GHz	140,69-140,98 GHz	

CUADRO 1 (*fin*)

Sustancia	Frecuencia de reposo	Banda mínima propuesta	Notas <sup>(1)</sup>
Monosulfuro de carbono (CS)	146,969 GHz	146,82-147,12 GHz	
Óxido nítrico (NO)	150,4 GHz	149,95-150,85 GHz	(5)
Metanol (CH <sub>3</sub> OH)	156,602 GHz	156,45-156,76 GHz	
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	183,310 GHz	183,12-183,50 GHz	
Monóxido de carbono (C <sup>18</sup> O)	219,560 GHz	219,34-219,78 GHz	
Monóxido de carbono ( <sup>13</sup> CO)	220,399 GHz	219,67-220,62 GHz	(4)
Radical cianuro (CN)	226,6 GHz	226,37-226,83 GHz	(5)
Radical cianuro (CN)	226,8 GHz	226,57-227,03 GHz	(5)
Monóxido de carbono (CO)	230,538 GHz	229,77-230,77 GHz	(4)
Monosulfuro de carbono (CS)	244,953 GHz	244,72-245,20 GHz	
Óxido nítrico (NO)	250,6 GHz	250,35-250,85 GHz	(5)
Radical etinilio (C <sub>2</sub> H)	262,0 GHz	261,74-262,26 GHz	(5)
Ácido cianhídrico (HCN)	265,886 GHz	265,62-266,15 GHz	
Formilio (HCO <sup>+</sup> )	267,557 GHz	267,29-267,83 GHz	
Isocianuro de hidrógeno (HNC)	271,981 GHz	271,71-272,25 GHz	

- (1) A menos que se aplique la Nota <sup>(2)</sup> o la Nota <sup>(4)</sup>, los límites de la banda son las frecuencias con desplazamiento por efecto Doppler correspondientes a velocidades radiales de  $\pm 300$  km/s (de acuerdo con las rayas de radiación que aparecen en la galaxia Vía Láctea).
- (2) Se requiere una ampliación a frecuencias más bajas de la atribución de 1 400-1 427 MHz para poder incluir los mayores desplazamientos Doppler para H I observados en galaxias lejanas. En el Cuadro 4 se enumeran otras gamas de frecuencias preferidas para el hidrógeno neutro desplazado al rojo en las épocas astronómicas pertinentes.
- (3) La actual atribución internacional no es primaria y/o no satisface las necesidades de anchura de banda. Véase información más detallada en el Reglamento de Radiocomunicaciones (RR).
- (4) Puesto que se están utilizando también estas rayas para observar galaxias distintas de la Vía Láctea, las anchuras de banda indicadas incluyen desplazamientos por efecto Doppler correspondientes a velocidades radiales de hasta 1 000 km/s. Se han detectado algunas rayas de las moléculas más abundantes, así como de H I, en galaxias con velocidades de recesión muy elevadas debidas a la expansión del universo, lo que da lugar a frecuencias observadas muy por debajo de la frecuencia de emisión de la trama en reposo (véase la Fig. 3).
- (5) Hay varias rayas muy cercanas entre sí asociadas con estas moléculas. Las bandas indicadas son suficientemente anchas para permitir la observación de todas las rayas.
- (6) Esta raya está fuera de las bandas atribuidas al servicio de radioastronomía.
- (7) Estas rayas sólo pueden observarse fuera de la atmósfera de la Tierra, por ejemplo, utilizando receptores situados en globos a gran altitud, aeronaves, satélites u otras plataformas no terrestres (véase también el Artículo 22, Sección V, del RR).
- (8) Una parte de la «banda mínima propuesta» para esta raya se extiende más allá de la banda atribuida al servicio de radioastronomía. Puede que no sea posible proteger las observaciones realizadas en esta parte de la banda.

NOTA 1 – Se puede consultar una lista más amplia de rayas importantes para la astrofísica que se observan frecuentemente en <https://splatalogue.online/#/home>. La base de datos Splatologue para espectroscopia astronómica se gestiona a través de una amplia colaboración de astrónomos y espectroscopistas atómicos y moleculares.

CUADRO 2

**Rayas de radiofrecuencia de máxima importancia para la radioastronomía a frecuencias entre 275 y 1 000 GHz (no atribuidas a la radioastronomía en el RR)**

Sustancia	Frecuencia de reposo (GHz)	Banda mínima propuesta (GHz)	Notas <sup>(1)</sup>
Diazenilio (N <sub>2</sub> H <sup>+</sup> )	279,511	279,23-279,79	
Monosulfuro de carbono (CS)	293,912	292,93-294,21	
Hidronio (H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> )	307,192	306,88-307,50	
Vapor de agua de deuterio (HDO)	313,750	313,44-314,06	
Monóxido de carbono (C <sup>18</sup> O)	329,330	329,00-329,66	
Monóxido de carbono ( <sup>13</sup> CO)	330,587	330,25-330,92	
Monosulfuro de carbono (CS)	342,883	342,54-343,23	
Monóxido de carbono (CO)	345,796	345,45-346,14	
Ácido cianhídrico (HCN)	354,484	354,13-354,84	
Formilio (HCO <sup>+</sup> )	356,734	356,37-357,09	
Oxígeno molecular (O <sub>2</sub> )	368,498	368,13-368,87	
Diazenilio (N <sub>2</sub> H <sup>+</sup> )	372,672	372,30-373,05	(2)
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	380,197	379,81-380,58	(2)
Hidronio (H <sub>3</sub> O <sup>+</sup> )	388,459	388,07-388,85	
Monosulfuro de carbono (CS)	391,847	390,54-392,24	
Oxígeno molecular (O <sub>2</sub> )	424,763	424,34-425,19	
Monóxido de carbono (C <sup>18</sup> O)	439,088	438,64-439,53	
Monóxido de carbono ( <sup>13</sup> CO)	440,765	440,32-441,21	
Monóxido de carbono (CO)	461,041	460,57-461,51	
Vapor de agua de deuterio (HDO)	464,925	464,46-465,39	
Carbono atómico (C I)	492,162	491,66-492,66	
Vapor de agua de deuterio (HDO)	509,292	508,78-509,80	
Ácido cianhídrico (HCN)	531,716	529,94-532,25	(2)
Monosulfuro de carbono (CS)	538,689	536,89-539,23	(2)
Vapor de agua (H <sub>2</sub> <sup>18</sup> O)	547,676	547,13-548,22	(2)
Monóxido de carbono ( <sup>13</sup> CO)	550,926	549,09-551,48	(2)
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	556,936	556,37-557,50	(2)
Amoníaco ( <sup>15</sup> NH <sub>3</sub> )	572,113	571,54-572,69	(2)
Amoníaco (NH <sub>3</sub> )	572,498	571,92-573,07	(2)
Monóxido de carbono (CO)	576,268	574,35-576,84	(2)
Monosulfuro de carbono (CS)	587,616	587,03-588,20	(2)
Vapor de agua de deuterio (HDO)	599,927	599,33-600,53	(2)
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	620,700	620,08-621,32	(2)
Ácido clorhídrico (HCl)	625,040	624,27-625,67	
Ácido clorhídrico (HCl)	625,980	625,35-626,61	
Monosulfuro de carbono (CS)	636,532	634,41-637,17	

CUADRO 2 (*fin*)

Sustancia	Frecuencia de reposo (GHz)	Banda mínima propuesta (GHz)	Notas <sup>(1)</sup>
Monóxido de carbono ( <sup>13</sup> CO)	661,067	658,86-661,73	
Monóxido de carbono (CO)	691,473	690,78-692,17	
Oxígeno molecular (O <sub>2</sub> )	715,393	714,68-716,11	(2)
Monosulfuro de carbono (CS)	734,324	733,59-735,06	(2)
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	752,033	751,28-752,79	(2)
Oxígeno molecular (O <sub>2</sub> )	773,840	773,07-784,61	(2)
Ácido cianhídrico (HCN)	797,433	796,64-798,23	
Formilio (HCO <sup>+</sup> )	802,653	801,85-803,85	
Monóxido de carbono (CO)	806,652	805,85-807,46	
Carbono atómico (C I)	809,350	808,54-810,16	
Monosulfuro de carbono (CS)	832,057	829,28-832,89	
Oxígeno molecular (O <sub>2</sub> )	834,146	833,31-834,98	
Monosulfuro de carbono (CS)	880,899	877,96-881,78	
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	916,172	915,26-917,09	(2)
Monóxido de carbono (CO)	921,800	918,72-922,72	(2)
Monosulfuro de carbono (CS)	929,723	926,62-930,65	
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	970,315	969,34-971,29	(2)
Monosulfuro de carbono (CS)	978,529	977,55-979,51	(2)
Vapor de agua (H <sub>2</sub> O)	987,927	986,94-988,92	(2)

<sup>(1)</sup> Los límites de la banda son las frecuencias con desplazamiento por efecto Doppler correspondientes a las velocidades radiales de  $\pm 300$  km/s (de acuerdo con las rayas de radiación que aparecen en la galaxia Vía Láctea).

<sup>(2)</sup> Estas rayas sólo pueden observarse fuera de la atmósfera de la Tierra, por ejemplo, utilizando receptores situados en globos a gran altitud, aeronaves, satélites u otras plataformas no terrestres (véase también el Artículo 22, Sección V, del RR).

CUADRO 3

**Bandas de frecuencia atribuidas al servicio de radioastronomía o identificadas en el número 5.565 del RR, preferidas para las observaciones del continuum**

Banda de frecuencias (MHz)	Banda de frecuencias (GHz)
13,360-13,410	10,6-10,7
25,550-25,670	15,35-15,4
37,5-38,25 <sup>(1)</sup>	22,21-22,50
73-74,6 <sup>(2)</sup>	23,6-24,0
150,05-153 <sup>(3)</sup>	31,3-31,8
322-328,6	42,5-43,5
406,1-410	76-116 <sup>(1)</sup>
608-614 <sup>(4)</sup>	123-158,5 <sup>(1)</sup>
1 400-1 427	164-167
1 660-1 670	200-231,5
2 655-2 700 <sup>(1)</sup>	241-510 <sup>(1), (5)</sup>
4 800-5 000 <sup>(1)</sup>	602-720 <sup>(6)</sup>
	787-950 <sup>(7)</sup>

<sup>(1)</sup> Estas bandas incluyen atribuciones secundarias.

<sup>(2)</sup> Atribución (primaria) en la Región 2; protección recomendada en las Regiones 1 y 3.

<sup>(3)</sup> Atribución (primaria) en la Región 1, Australia e India.

<sup>(4)</sup> Atribución (primaria) en la Región 2, Zona Africana de Radiodifusión (606-614 MHz), China (606-614 MHz) e India. En la Región 1 (salvo la Zona Africana de Radiodifusión) y en la Región 3 esta banda está atribuida al SRA a título secundario.

<sup>(5)</sup> El núm. **5.565** del RR identifica las gamas de frecuencias 275-323 GHz, 327-371 GHz, 388-424 GHz, 426-442 GHz y 453-510 GHz para que las administraciones las utilicen en el servicio de radioastronomía, y las gamas de frecuencias 323-327 GHz, 371-388 GHz, 424-426 GHz y 442-453 GHz para otros servicios pasivos.

<sup>(6)</sup> El núm. **5.565** del RR identifica la gama de frecuencias 623-711 GHz para que las administraciones las utilicen en el servicio de radioastronomía, y las gamas de frecuencias 611-630 GHz y 713-718 GHz para otros servicios pasivos.

<sup>(7)</sup> El núm. **5.565** del RR identifica las gamas de frecuencias 795-909 GHz y 926-945 GHz para que las administraciones las utilicen en el servicio de radioastronomía, y la gama de frecuencias 909-926 GHz para otros servicios pasivos.

CUADRO 4

## Bandas de frecuencias asociadas al hidrógeno neutro desplazado al rojo

Sustancia	Frecuencia de reposo	Ángulo de desplazamiento al rojo <sup>(1)</sup>	Gama de frecuencias	Notes
Hidrógeno (H I)	1 420,406 MHz	$20,9 > z > 6$	65,0-200,0 MHz	(2)
		$2 > z > 1$	473,0-710,0 MHz	(3)
		$0,48 > z > 0,22$	960,0-1 164,0 MHz	(4),
		$0,093 > z > 0$	1 300,0-1 427,0 MHz	(5)

<sup>(1)</sup> El parámetro  $z [(f_{\text{emit}} - f_{\text{obs}})/f_{\text{obs}}]$  se denomina desplazamiento al rojo. Véase la Fig. 3.

<sup>(2)</sup> Algunas partes de esta banda de frecuencias están atribuidas a título primario en la Región 2 (73-74,6 MHz) y a título primario en la Región 1 (150,05-153,0 MHz) y están identificadas en el núm. **5.149** del RR en la Región 1 (73-74,6 MHz y 150,05-153 MHz) y en la Región 3 (73-74,6 MHz). Algunas normas nacionales indican que no se autorizará a ninguna estación para transmitir en la banda 73-74,6 MHz. Se espera observar H I en los desplazamientos al rojo de la época de reionización físicamente importante ( $6,0 < z < 20$ ) en una gama de frecuencias de 65,0-200,0 MHz. Véase la Fig. 3, panel izquierdo.

<sup>(3)</sup> Algunas partes de esta gama de frecuencias tienen una atribución primaria en la Región 2 (608-614 MHz), la Zona Africana de Radiodifusión (606-614 MHz, núm. **5.304** del RR), China (606-614 MHz, núm. **5.305** del RR) e India (608-614 MHz, núm. **5.307** del RR). En la Región 1 (con la excepción de la Zona Africana de Radiodifusión) y en la Región 3, una parte de esta banda está atribuida a título secundario (608-614 MHz, núm. **5.306** del RR). La banda de frecuencias 608-614 MHz está incluida en el núm. **5.149** del RR en las Regiones 1 y 3. Algunas normas nacionales indican que no se autorizará a ninguna estación para transmitir en la banda 608-614 MHz, salvo que se trate de equipo médico de telemetría. Esta gama de frecuencias corresponde a una gama de desplazamiento al rojo dentro de la cual tiene lugar la actividad máxima de formación de estrellas ( $1 < z < 2$ ). Véase la Fig. 3, panel central.

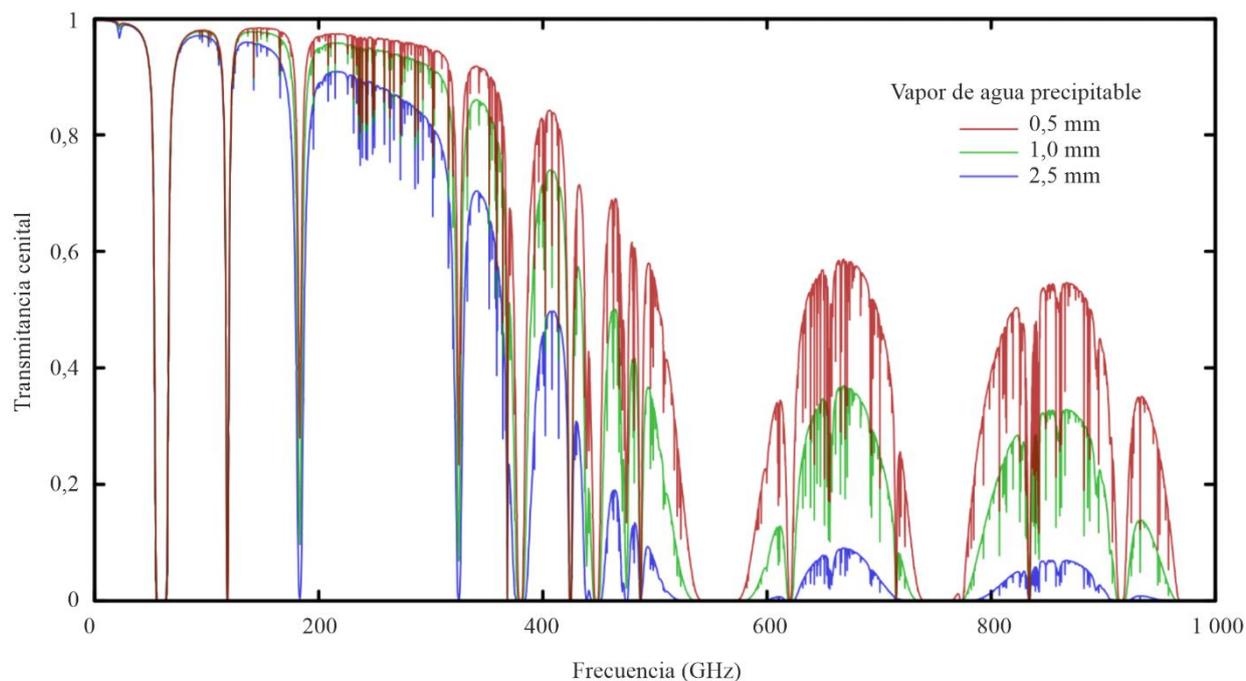
<sup>(4)</sup> En el RR no figura ninguna atribución internacional a la radioastronomía en esta banda de frecuencias. Esta gama de frecuencias corresponde a una gama de desplazamiento al rojo en la que todavía se puede observar directamente hidrógeno neutro en emisión en las galaxias, donde la evolución cósmica ya es observable (aproximadamente  $0,5 > z > 0,2$ ). Véase la Fig. 3, panel central.

<sup>(5)</sup> Una parte de esta banda de frecuencias figura en el núm. **5.149** del RR (1 330-1 400 MHz) y una parte de esta banda de frecuencias está atribuida al SRA a título primario y también se indica en el núm. **5.340** del RR (1 400-1 427 MHz). Se requiere una ampliación a frecuencias más bajas para poder incluir los desplazamientos Doppler para H I observados en galaxias lejanas. El límite superior de la frecuencia tiene en cuenta el desplazamiento hacia el azul de las galaxias dentro del volumen local. Véase la Fig. 3, panel central.

## Anexo 1

Las bandas de frecuencias preferidas para las observaciones radioastronómicas vienen determinadas por procesos naturales, como se ilustra en las siguientes figuras.

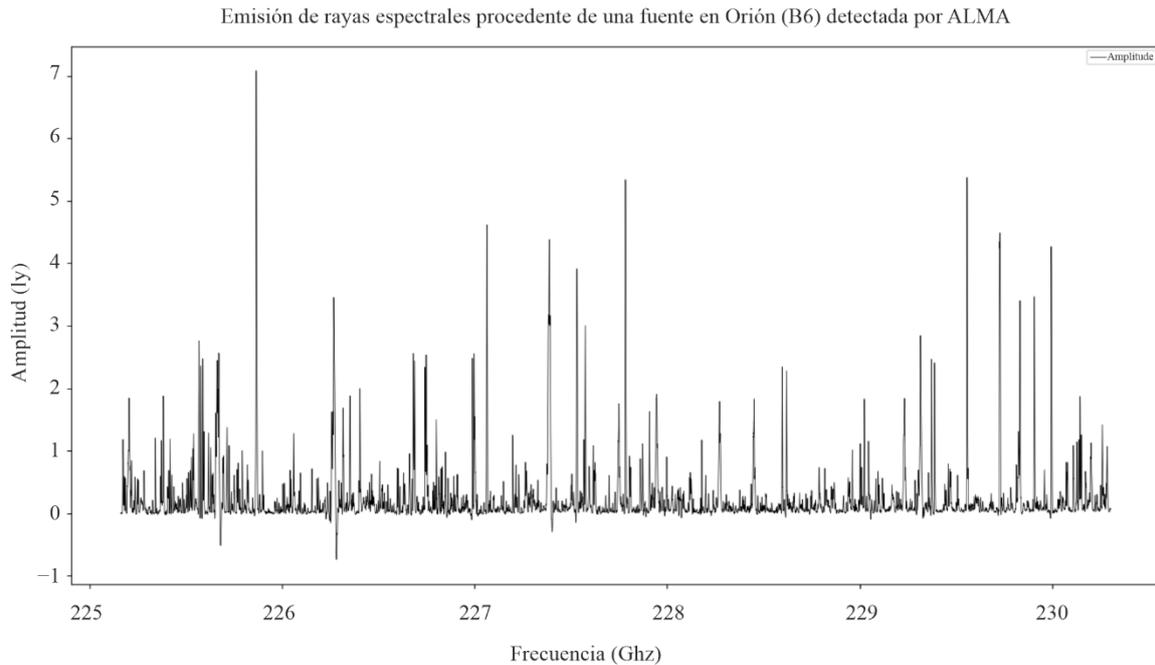
FIGURA 1  
Transmisión atmosférica en función de la frecuencia



RA.0314-01

Las regiones espectrales de gran transparencia se denominan «ventanas atmosféricas» y coinciden con las bandas de frecuencias preferidas para las observaciones radioastronómicas desde la Tierra. Las curvas de transmitancia espectral que se muestran en esta figura se corresponden con diferentes valores de vapor de agua precipitable (PWV) en un emplazamiento alto y seco. Los tres valores de PWV se corresponden aproximadamente con los cuartiles anuales de la gran red de antenas milimétricas/submilimétricas de Atacama.

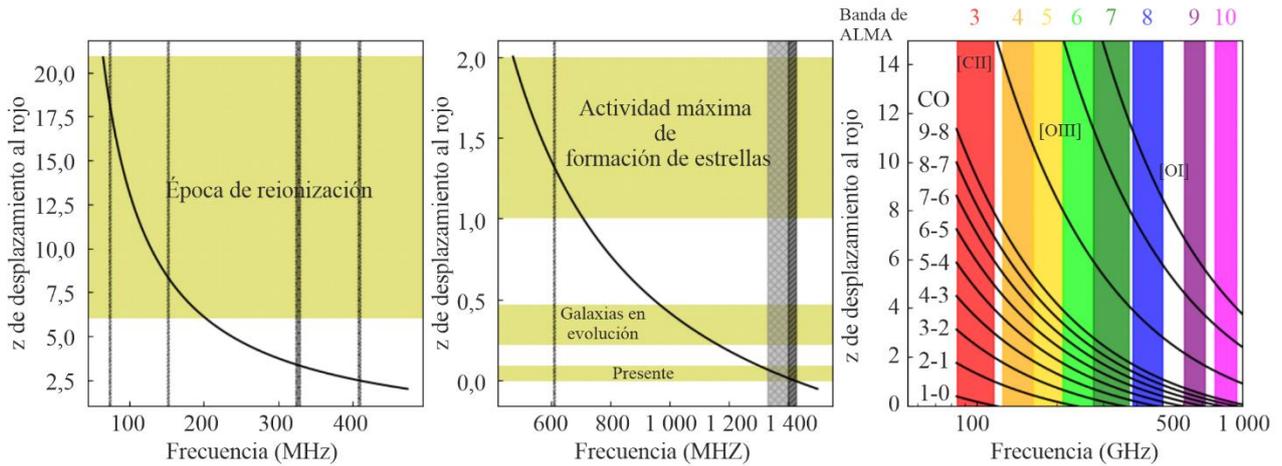
FIGURA 2

**Espectro de rayas de emisión que ilustra la riqueza de las rayas espectrales detectadas en fuentes cósmicas**

Las observaciones radioastronómicas muestran una gran cantidad de rayas espectrales detectadas con una sola observación en anchuras de banda grandes. La intensidad de cada raya es una función de las condiciones físicas de la fuente astronómica, incluidas la temperatura y la densidad. Las rayas espectrales enumeradas en los Cuadros 1 y 2 incluyen algunas de las rayas más fuertes y algunas de las transiciones más interesantes desde el punto de vista astronómico detectadas procedentes de fuentes cósmicas, pero muchas otras transiciones espectrales proporcionan información importante para la investigación astronómica. La Figura 2 muestra una parte pequeña de un espectro procedente de una fuente en la nube molecular de Orión, en una porción de la Banda 6 de ALMA (211-275 GHz). Hay señal en casi todos los canales. Cada raya se corresponde con una transición molecular o atómica. Ya se han observado miles de rayas en toda la región de frecuencias comprendida entre 10 MHz y 1 THz aproximadamente, y por encima. El eje vertical es una medida de la densidad de flujo por haz, donde un jansky (Jy) es  $10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ .

FIGURA 3

La expansión del universo provoca un desplazamiento Doppler aparente de las rayas espectrales de fuentes distantes



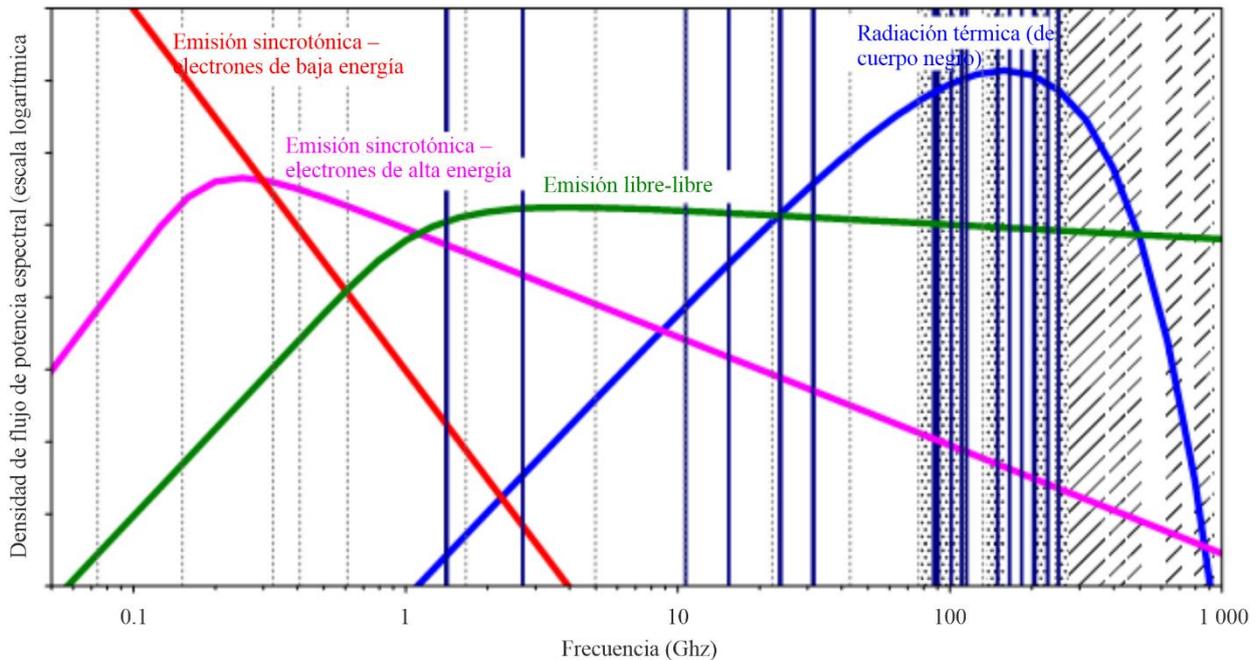
RA.0314-03

El parámetro  $z$  representa el desplazamiento al rojo y se calcula con  $(f_{\text{emit}} - f_{\text{obs}})/f_{\text{obs}}$ .

Los paneles izquierdo y central de la Fig. 3 ilustran las frecuencias desplazadas al rojo de la raya del hidrógeno atómico neutro H I. Los recuadros amarillos resaltan las gamas de desplazamiento al rojo que revisten un interés especial para la investigación astronómica (Cuadro 4). Las gamas punteadas en gris son las bandas de frecuencias en las que el SRA tiene una atribución a título coprimario en una Región como mínimo, las gamas cuadrículadas están indicadas en el número **5.149** del RR únicamente, las regiones sombreadas indican una atribución primaria y la inclusión en el número **5.340** del RR. Todas las frecuencias de los paneles izquierdo y central se pueden observar actualmente por radiotelescopio y podrán ser observadas en su totalidad con el Square Kilometre Array, uno de los radiotelescopios más grandes que se construirá próximamente. El panel derecho de la Fig. 3 muestra las frecuencias desplazadas al rojo de transiciones rotacionales CO y líneas de estructura fina [CII], [OIII] y [OI] seleccionadas (obsérvese que los corchetes indican una línea prohibida) enumeradas en los Cuadros 1 y 2 anteriores y en la Recomendación UIT-R RA.1860. Las regiones verticales sombreadas en color representan la gama de frecuencias de los receptores (bandas) de la gran red de antenas milimétricas/submilimétricas de Atacama. La observación de múltiples rayas CO procedentes de la misma fuente permite estudiar las condiciones físicas (temperatura y densidad) asociadas con las nubes moleculares y las regiones de formación estelar en objetos tanto cercanos como extremadamente distantes.

FIGURA 4

## Distribuciones de energía espectral de las fuentes cósmicas más potentes conocidas



RA.0314-04

Es necesario realizar observaciones radioastronómicas en múltiples frecuencias para definir el espectro del continuum de estrellas, galaxias, cuásares, púlsares y otras fuentes radioeléctricas cósmicas. Como se muestra en la Fig. 4, las bandas de frecuencias especificadas en el Cuadro 3 están separadas aproximadamente una octava a fin de muestrear la distribución de la energía espectral de fuentes cósmicas. Las bandas de frecuencias atribuidas al servicio de radioastronomía a título coprimario para las observaciones del continuum se indican mediante líneas punteadas en la Fig. 4. Las bandas de frecuencias también identificadas en el número **5.340** del RR se muestran con líneas continuas. Las bandas de frecuencias por encima de 275 GHz identificadas para la radioastronomía en el número **5.565** del RR se señalan con zonas sombreadas; esas regiones son adecuadas para las observaciones tanto del continuum como de las rayas espectrales. Las líneas de la Fig. 4 son más anchas que las atribuciones de frecuencias en muchos casos. Menos del 1,7% del espectro radioeléctrico por debajo de 11 GHz está atribuido al servicio de radioastronomía a título coprimario y sólo el 0,52% por debajo de 11 GHz está incluido en la lista «se prohíben todas las emisiones en las siguientes bandas» del núm. **5.340** del RR.

En la Fig. 4 se muestran distribuciones representativas de las densidades de flujo de potencia espectral de púlsares (emisión sincrotrónica de electrones de baja energía), restos de supernovas (emisión sincrotrónica de electrones de alta energía), gas ionizado (emisión libre-libre) y fuentes térmicas (radiación de cuerpo negro). Dado que la densidad de flujo observada de un objeto astronómico es la combinación de su luminosidad intrínseca y la distancia a la fuente, el eje y de la Fig. 4 está representado en una escala logarítmica relativa. El espectro de una fuente astronómica también puede ser una combinación lineal de los espectros visualizados, con contribuciones de intensidad variable generadas por los diferentes procesos de radiación. Al medir la forma del espectro observado, los astrónomos pueden calcular los parámetros físicos pertinentes del objeto. Las distribuciones de densidad de flujo de potencia espectral mostradas en la Fig. 4 abarcan cuatro órdenes de magnitud, por ejemplo de  $-290$  a  $-250$  dB(W m<sup>-2</sup> Hz<sup>-1</sup>). La enorme sensibilidad de los receptores de radioastronomía permite detectar objetos astronómicos muy débiles, a niveles de microjansky, donde 1 jansky (Jy) es  $10^{-26}$  W m<sup>-2</sup> Hz<sup>-1</sup>.