

## SEÑALES DE RADIOFRECUENCIA CÓSMICA: SU IMPACTO EN LA ASTRONOMÍA

Las señales de radiofrecuencia cósmica son ondas electromagnéticas provenientes del espacio exterior, que pueden ser captadas por radiotelescopios. Entre estas señales se encuentran el ruido cósmico, las ráfagas rápidas de radio (FRB) y la famosa señal "¡Wow!".

### 1. DESCRIPCIÓN GENERAL.

El estudio exhaustivo de los objetos cósmicos en las frecuencias de radio comenzó tras el descubrimiento fortuito de la emisión de radio celeste en 1932 por Karl Jansky de los Laboratorios Bell Telephone, como un subproducto de los estudios del sistema y el ruido térmico en los sistemas de radiotelefonía. Desde este descubrimiento inicial, los radioastrónomos han hecho muchos descubrimientos importantes, incluidos varios reconocidos con la concesión de premios Nobel. La ciencia de la radioastronomía ha crecido notablemente a lo largo de los años, convirtiéndose en una herramienta importante de la astronomía y la astrofísica modernas. Debido a las condiciones físicas extremas asociadas con algunos objetos celestes, las observaciones de radio permiten el estudio de una amplia gama de entornos físicos, incluidos extremos en densidad, temperatura, presión y composiciones químicas inusuales que no se pueden reproducir en la Tierra.

La emisión de radio de los objetos celestes se genera en condiciones muy diferentes a las que producen la radiación visible. Mientras que las ondas de luz observadas por los astrónomos ópticos se originan en objetos como estrellas y nebulosas circunestelares, las ondas de radio celestes provienen de una diversidad de entornos que, en muchos casos, no pueden ser observados en otras longitudes de onda (Figura 1). De hecho, las observaciones en longitudes de onda de radio a menudo permiten descubrir nuevas clases de objetos celestes. Además, el estudio de estos mismos objetos por parte de los radioastrónomos ofrece una perspectiva complementaria de los procesos físicos que no pueden investigarse en otras regiones del espectro electromagnético.

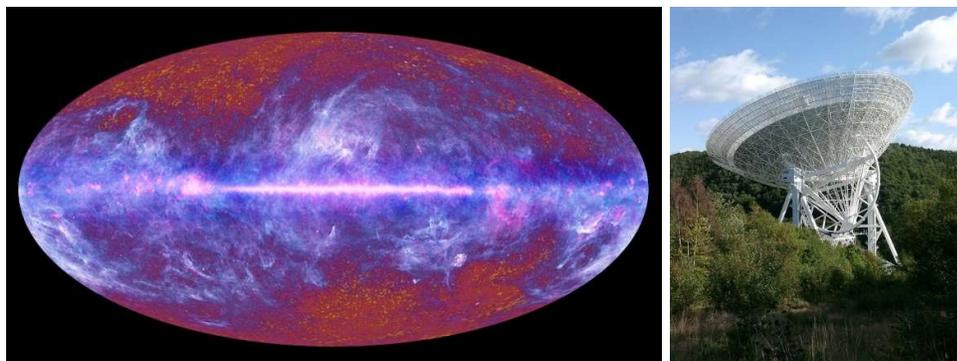


Figura 1. El cielo del microondas visto por el telescopio espacial Planck

En la figura 2 podemos observar una representación de la evolución o expansión del universo a lo largo de 13.770 millones de años o 13800 en números redondos; en el extremo izquierdo de dicha figura se representa el momento más temprano que podemos sondear hasta ahora del inicio del universo, cuando un período de "inflación" produjo un estallido de crecimiento exponencial en el mismo. Durante los siguientes miles de millones de años, la expansión del universo se desaceleró gradualmente a medida que su materia tiraba sobre sí misma a través de la gravedad. Más recientemente, la expansión ha comenzado a acelerarse de nuevo a medida que los efectos repulsivos de la energía oscura han llegado a dominar la expansión del universo. La luz de resplandor vista por la Sonda Wilkinson de Anisotropía de Microondas (WMAP, de sus siglas en inglés) se emitió unos 375.000 años después de la inflación y ha atravesado el universo en gran medida sin obstáculos desde entonces. Las condiciones de los tiempos anteriores están impresas en esta señal.

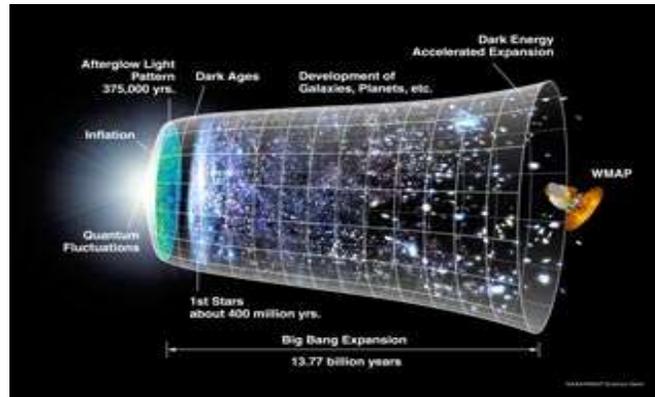


Figura 2. Representación de la expansión del universo a lo largo de 13.770 millones de años

## 2.- Tipos de emisiones radioeléctricas:

- **Continuo Radioeléctrico**

El descubrimiento de las fuentes de radio y la mayor parte del conocimiento actual a cerca de su naturaleza y distribución, y sobre los procesos responsables de la emisión de radio de ellas, se ha producido a través de las observaciones de la radiación continua. Las observaciones del continuo radioeléctrico consideran la amplia variación de la emisión con la frecuencia (Figura 3). Las mediciones individuales se realizan con detectores de banda ancha que abarcan hasta 8 GHz y, por lo tanto, son sensibles a las interferencias en una amplia gama de frecuencias, desde longitudes de onda de metros hasta milímetros (de varios MHz a cientos de GHz). El continuo de radio surge de tres procesos principales, todos los cuales tienen una aplicación importante en el estudio de objetos astronómicos:

- Radiación térmica (cuerpo negro) siguiendo la ley de Planck, que es emitida por los objetos según su temperatura física,
- Emisión libre, que se produce en un gas ionizado de electrones y protones que colisionan libremente con una intensidad proporcional a la temperatura de los electrones, y
- Emisión no térmica, producida principalmente por radiación de sincrotrón incoherente, en la que electrones de muy alta energía giran en espiral alrededor de líneas de campo magnético, y también por una variedad de procesos coherentes, como la radiación de plasma y ciclotrón.

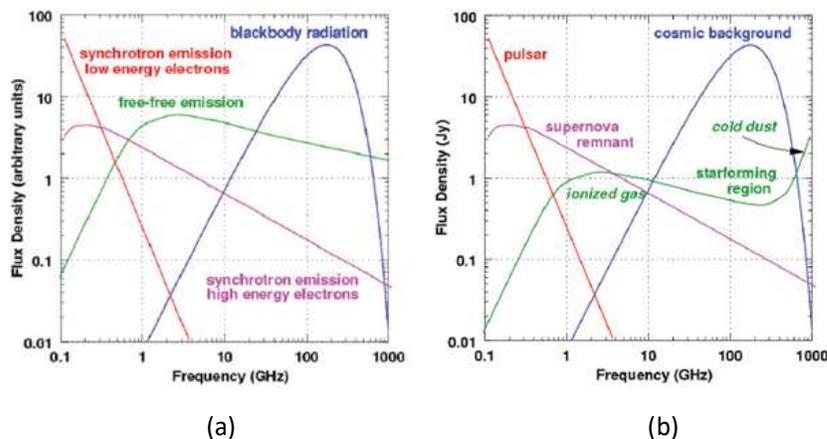


Figura 3. a) Espectros continuos producidos por diversos mecanismos de emisión. (b) Tipos de fuentes astronómicas que producen la correspondiente emisión del continuo radioeléctrico. Los niveles de flujo mostrados corresponden a las fuentes más fuertes conocidas. Un Jansky (Jy) es de  $10^{-26} \text{ W m}^{-2} \text{ Hz}^{-1}$ .

- **Líneas Espectrales**

La radiación de línea espectral se emite cuando un átomo o molécula experimenta una transición radiativa entre niveles de energía. Esta radiación se emite a una frecuencia bien definida y, por lo tanto, da como resultado una línea en el espectro radioeléctrico (Figura 4). En el caso de las moléculas, muchas de las transiciones rotacionales y vibratorias se producen en las bandas de onda centimétrica y milimétrica, por lo que muchos estudios de líneas espectrales, incluido el descubrimiento en el espacio exterior de nuevas especies moleculares, sólo pueden llevarse a cabo en la parte radioeléctrica del espectro. Además, Las técnicas de radio permiten observar líneas espectrales con una resolución de frecuencia muy alta que no se puede lograr mediante técnicas comúnmente empleadas en otras longitudes de onda.

Cada especie atómica y molecular tiene su propio conjunto único de líneas espectrales. Las líneas espectrales de radio de los átomos surgen de transiciones hiperfinas o recombinación de electrones. Una de las líneas más fundamentales y ampliamente observadas ocurre a 1420 MHz, que surge del hidrógeno atómico neutro. Los estudios de esta línea proporcionan un importante trazador del elemento más abundante en el universo dentro de las nubes interestelares de la Vía Láctea y otras galaxias. Las líneas moleculares generalmente provienen de cambios en la energía de rotación de la molécula. Los estudios de las diferentes transiciones de la abundante molécula de monóxido de carbono (CO) a 115, 230, 345 GHz y más allá (Figura 5) proporcionan información fundamental sobre la naturaleza y distribución de las formas más densas del medio interestelar.

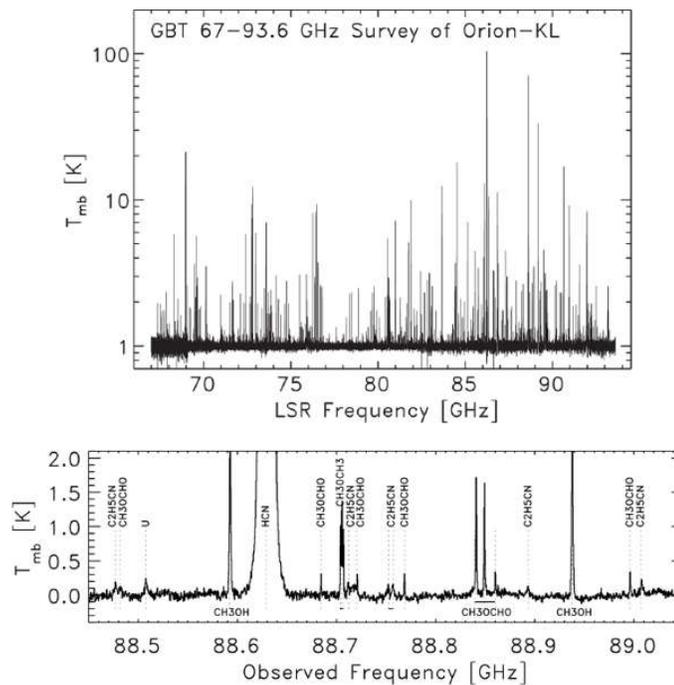


Figura 4. a) Espectros continuos producidos por diversos mecanismos de emisión. (b) Tipos de fuentes astronómicas que producen la correspondiente emisión del continuo radioeléctrico. Los niveles de flujo mostrados corresponden a las fuentes más fuertes conocidas. Un Jansky (Jy) es de  $10^{-26}$  W/ (m<sup>2</sup> Hz<sup>1</sup>)

Las observaciones de las líneas espectrales permiten a los astrónomos medir el desplazamiento Doppler que surge del movimiento relativo de la fuente y el observador. La frecuencia observada de la línea espectral, a menudo denominada corrimiento al rojo es una combinación del movimiento sistémico del objeto celeste y los movimientos cinemáticos locales del medio emisor o absorbente. El estudio de la ubicación de la fuente, la cinemática y los tamaños angulares de las regiones proporcionan información importante sobre las condiciones físicas dentro y cerca de la fuente y sobre los movimientos dentro de esta.

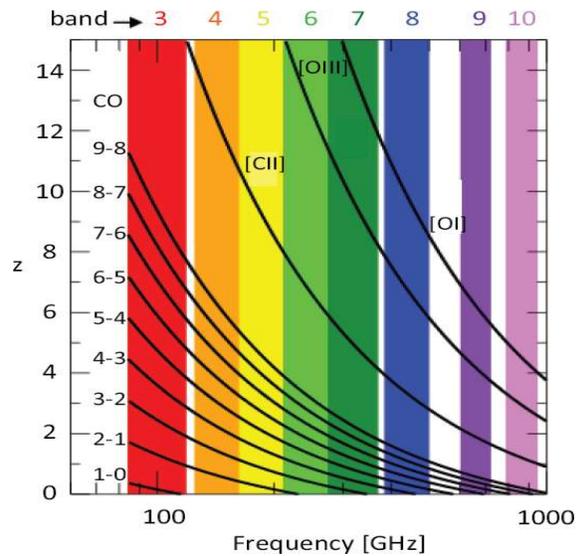


Figura 5. Desplazamiento Doppler de las líneas espectrales para fuentes distantes.

Se han encontrado muchas líneas espectrales de una variedad de especies atómicas y de un gran número de moléculas en el espacio interestelar y en las atmósferas de estrellas, planetas y cometas. Esta rápida expansión de nuestro conocimiento ha llevado al desarrollo de una nueva y emocionante rama de la astronomía: la astroquímica, que enfatiza la síntesis de moléculas interestelares y la evolución del gas interestelar denso, incluido su papel en la formación de estrellas y etapas posteriores de la vida de estas. Debido a que los planetas se forman como un subproducto de la formación de estrellas, el conocimiento de la química interestelar y los orígenes de las especies moleculares son vitales para comprender la química planetaria temprana y el origen de la vida. Se han detectado líneas espectrales de más de 155 especies moleculares diferentes en el mundo interestelar.

Con una mejor comprensión de la evolución química interestelar, también se ha hecho posible utilizar las fuerzas relativas de las líneas de ciertas moléculas para determinar las condiciones físicas y químicas en las nubes interestelares y las envolturas circunestelares. Por lo tanto, algunas líneas moleculares específicas han demostrado ser herramientas diagnósticas excepcionalmente valiosas que requieren una atención especial. En los apéndices C, D y E de este manual se enumeran las líneas espectrales consideradas por la Unión Astronómica Internacional (UAI) como las más importantes para la astronomía (a partir de 2015) y, si se encuentran en una banda asignada, se enumera su estado de protección. Además del valor de algunas líneas moleculares como herramientas de diagnóstico, debido a que las transiciones moleculares ocurren en todo el espectro electromagnético, las observaciones de las transiciones de moléculas interestelares en todas las frecuencias mejoran nuestra comprensión de la naturaleza física y la composición del medio interestelar. Por esta razón, es importante que todos los usuarios del espectro adopten todas las medidas prácticas necesarias para reducir al mínimo la contaminación del espectro con emisiones innecesarias.

### 3.- Ventanas atmosféricas y bandas de frecuencias para radioastronomía

La atribución de bandas espectrales para aplicaciones científicas de radioastronomía se basa en parte en las ventanas atmosféricas disponibles. Los radiotelescopios terrestres solo pueden observar en las regiones de la atmósfera que no están oscurecidas. Por debajo de 50 GHz, hay una ventana entre aproximadamente 15 MHz y 50 GHz. Por encima de 50 GHz, estas ventanas de radio se producen en longitudes de onda de alrededor de 3 mm (65-115 GHz), 2 mm (125-180 GHz) y 1,2 mm (200-300 GHz). En longitudes de onda inferiores a 1 mm, las llamadas bandas submilimétricas, las ventanas son menos

distintas, pero existen claramente definidas a 0,9 mm (325-375 GHz), 0,7 mm (375-500 GHz), 0,45 mm (600-720 GHz) y 0,35 mm (780-900 GHz), así como en otras ventanas más pequeñas.

Dentro de estas ventanas atmosféricas, muchas partes científicamente importantes del espectro han sido protegidas para la investigación astronómica. Los radioastrónomos utilizan regularmente las frecuencias desde la banda de radioastronomía más baja atribuida a 13,36 a 13,41 MHz hasta frecuencias superiores a 1000 GHz. Sin embargo, con el descubrimiento de nuevos objetos astronómicos y el desarrollo de mejores equipos y técnicas, queda mucho por hacer para proteger las asignaciones actuales y satisfacer las necesidades de la investigación moderna. Las siguientes áreas son de particular importancia:

- Muchas de las bandas asignadas actualmente tienen anchos de banda insuficientes. Originalmente, dada la tecnología disponible para la radioastronomía, las anchuras de banda de aproximadamente el 1 por ciento de la frecuencia central eran adecuadas. Con la tecnología moderna, es esencial un mayor ancho de banda para las mediciones de alta sensibilidad, que dependen del promedio para la reducción de ruido. El desplazamiento Doppler de las líneas espectrales debido a la expansión del universo o los movimientos locales de los objetos astronómicos también requieren salir de estas bandas asignadas.
- La mayoría de las bandas se comparten con los servicios activos. Las señales fuertes y obvias de origen terrestre a menudo pueden eliminarse de los datos recopilados, pero las señales débiles desafían la edición y, por lo tanto, pueden ser más perniciosas y contaminar los promedios de banda ancha a largo plazo sin ser evidentes en los datos individuales.
- Las bandas de radioastronomía no están adecuadamente protegidas de las transmisiones en bandas adyacentes. Esto es particularmente un problema con los transmisores aéreos y espaciales, porque sus técnicas de modulación son a menudo ineficientes y el terreno alrededor de los observatorios no proporciona protección para los transmisores a gran altura.
- Algunas asignaciones se aplican a zonas limitadas del mundo, sin proporcionar protección alguna en otras zonas.
- Hay grandes intervalos entre algunas de las bandas asignadas. Con el fin de determinar la distribución espectral de la emisión de la fuente radioeléctrica, se asignaron bandas a la radioastronomía a intervalos de aproximadamente octavas.

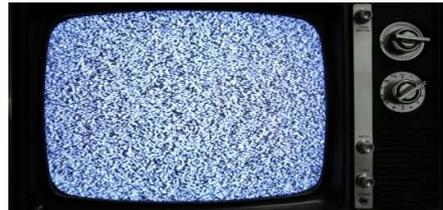
Finalmente, a pesar de las preocupaciones anteriores, el uso compartido del espectro radioeléctrico tanto por los servicios activos como por el servicio de radioastronomía (RAS) de sólo recepción es posible en determinadas circunstancias, como el uso activo de transmisores de baja potencia.

### **3.- Conclusión y Comentario**

- El estudio de las señales de radiofrecuencia cósmica es crucial para entender el universo, revelando fenómenos inaccesibles en otras longitudes de onda. La ingeniería en telecomunicaciones aporta tecnologías avanzadas, como radiotelescopios y algoritmos, que permiten captar y analizar estas señales. Sin embargo, desafíos como el desplazamiento Doppler de las líneas espectrales exigen soluciones innovadoras y modelos precisos. Este esfuerzo interdisciplinario no solo amplía el conocimiento humano, sino que demuestra nuestra capacidad para explorar y descifrar los secretos del cosmos.

- En el Ecuador, y particularmente en la región sur del país, el estudio de las señales radioeléctricas de origen cósmico aún es incipiente, con una presencia reducida o prácticamente nula en el ámbito académico y científico. Sin embargo, este vacío representa una oportunidad estratégica para la universidad, posicionándose como un motor clave para instaurar, promover y fortalecer el desarrollo de la radioastronomía, una disciplina interdisciplinaria que combina áreas como la astronomía, la ingeniería en telecomunicaciones, la electrónica, la computación, la mecánica y la electricidad, entre otras. Las instituciones académicas tienen la capacidad de ser pioneras en este campo, impulsando proyectos de investigación que no solo amplíen el conocimiento científico sobre el cosmos, sino que también fomenten la formación de profesionales altamente capacitados que puedan contribuir al desarrollo tecnológico y social. Superar las barreras culturales y las limitaciones de recursos en esta área será un desafío que, de ser asumido, puede generar un salto cualitativo significativo en el ámbito académico en la región y el país. Además, al integrar diferentes disciplinas hacia el estudio de la radioastronomía, se abre la posibilidad de crear alianzas nacionales e internacionales que posicionen al Ecuador como un referente emergente en esta rama de la ciencia. Este esfuerzo no solo tendrá un impacto académico, sino que también catalizará el desarrollo social y contribuirá a la humanidad al fomentar el pensamiento crítico, la adopción de tecnologías avanzadas y el desarrollo sostenible en la región. En este sentido, autoridades, profesores y estudiantes enfrentan el reto y, al mismo tiempo, la responsabilidad de ser agentes de cambio que aporten al progreso local y global a través de la ciencia.

**Y recuerda ¡!!!!** "La televisión analógica ofrece una evidencia cotidiana del Big Bang, ya que aproximadamente el 1% de la estática observable en su pantalla proviene de la radiación cósmica de fondo de microondas, un vestigio electromagnético que ha perdurado desde los primeros momentos del universo."



#### REFERENCIAS:

1. MDSCC. (2024, abril 5). *Telescopios de la NASA hallan nuevas pistas sobre misteriosas señales del espacio profundo*. MDSCC. Recuperado de <https://www.mdsc.nasa.gov/index.php/2024/04/05/telescopios-de-la-nasa-hallan-nuevas-pistas-sobre-misteriosas-senales-del-espacio-profundo/>
2. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2015). *Handbook of frequency allocations and spectrum protection for scientific uses: Second edition*. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/21774>
3. ESA. (2010, julio). *The microwave sky as seen by Planck*. European Space Agency (ESA). Recuperado de [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2010/07/The\\_microwave\\_sky\\_as\\_seen\\_by\\_Planck](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2010/07/The_microwave_sky_as_seen_by_Planck)
4. NASA. (2006, septiembre 15). *Microwave sky as observed by WMAP*. NASA. Recuperado de <https://map.gsfc.nasa.gov/media/060915/index.html>