



MONOGRÁFICO ASTRONOMÍA

Usando ondas de radio para estudiar nuestro Universo

Edmundo Marcelo Arnal

Resumen

La Radioastronomía es una técnica relativamente joven que usan los astrónomos para investigar en el Universo que habitamos, objetos y fenómenos que no pueden ser estudiados en otras regiones del espectro electromagnético. En este trabajo se definen conceptos que son inherentes a esta técnica y se hace una breve descripción de algunos de los instrumentos que se usan para llevar a cabo las investigaciones. Se hace una breve mención a algunos de los descubrimientos más importantes realizados por esta rama de la Astronomía

Abstract

The Radioastronomy is a relatively young technique widely used by astronomers to study in the Universe we are immersed in, objects and phenomena that can not be studied at other wavelengths of the electromagnetic spectrum. In this paper, technical concepts deeply linked to this technique are defined, and major radiotelescopes that will become operational in the forthcoming years are briefly described. A succinct description of some of the important findings of this branch of the astronomical research is made

Resumo

A Radioastronomia é uma técnica relativamente jovem que usam os astrónomos para pesquisar no Universo que habitamos, objectos e fenómenos que não podem ser estudados em outras regiões do espectro electromagnético. Neste trabalho definem-se conceitos que são inherentes a esta técnica e se faz uma breve descrição de alguns dos instrumentos que se usam para levar a cabo as investigações. Faz-se uma breve menção a alguns das descobertas mais importantes realizados por este ramo da Astronomia.

1. Introducción

La Astronomía es la ciencia que se ocupa de estudiar los cuerpos celestes (sus movimientos, composición química, propiedades físicas, edad, distancia, etc.) que componen el Universo en el que nos encontramos inmersos. El estudio de los mismos se lleva a cabo por medio del análisis de la información que nos llega de ellos en la *radiación electromagnética*⁽¹⁾ que los mismos emiten.

La Astronomía es una de las ciencias más antiguas, y podría afirmarse, dejando escaso margen para el error, que nació casi al mismo tiempo que la humanidad. La curiosidad humana con respecto al origen del día, de la noche, el

movimiento del Sol y de la Luna, las fases de esta última, y la posición de las estrellas, fueron de utilidad para esos primeros habitantes de nuestro planeta a los fines de, entre otras cosas, definir el tiempo, orientarse en su habitat, y establecer con cierta precisión las épocas adecuadas de siembra y cosecha.

En sus inicios, los únicos “instrumentos” astronómicos fueron los ojos humanos. Con el correr del tiempo, y la aparición en escena de ciertos avances científicos y tecnológicos, el ojo humano pudo escudriñar el Universo haciendo uso de un instrumento mucho más poderoso: el telescopio. En el año que corre, se celebra el Año Internacional de la Astronomía, que conmemora los 400 años que han transcurrido desde que Galileo Galilei usó un muy rudimentario (¡para los estándares modernos!) telescopio para observar por primera vez a Júpiter y sus satélites más conspicuos.

Hasta mediados del siglo XX, nuestro conocimiento de los objetos que constituyen el Universo, así como el estudio de sus propiedades y de los procesos físicos que tienen lugar en los mismos, se basó exclusivamente en el estudio de la radiación que llegaba a la superficie de la Tierra luego de atravesar la atmósfera de la misma. Pero dicha radiación se encuentra confinada a un estrecho rango de frecuencias. El ojo humano puede percibir todos los colores que se encuentran presentes en el *arco iris*. Dicho de una manera más técnica, el ojo humano sólo es sensible a radiaciones que se encuentran comprendidas en un cierto rango de frecuencias. Estos colores (cada uno de los cuales tiene asociada una frecuencia de oscilación específica) abarcan desde el violeta hasta el rojo, y los mismos constituyen lo que se denomina *ventana óptica*. Fuera de ese rango, es decir fuera de las frecuencias abarcadas por la ventana óptica, el ojo humano no puede detectar radiación alguna.

En la Figura 1 se muestra el espectro electromagnético ⁽²⁾, y dentro del mismo la ubicación de la ventana óptica. Puede fácilmente apreciarse que esta última es extremadamente angosta en comparación con todo el rango de frecuencias presentes en el espectro electromagnético.



Fig. 1. Espectro electromagnético y ventana óptica. En esta última, las longitudes de onda se encuentran expresadas en nanómetros ⁽³⁾. Las frecuencias que corresponden a cada una de las longitudes de onda se encuentran indicadas, en notación científica ⁽⁴⁾ y en unidades de ciclos por segundo (Hz), en la parte inferior.

correspondientes a la ventana óptica, a atmósfera terrestre es totalmente opaca e impide que las mismas (¡afortunadamente para el ser humano!) alcancen la

superficie de nuestro planeta. En consecuencia, esa parte del espectro electromagnético es inaccesible desde la superficie de la Tierra, y no se puede estudiar desde la misma los fenómenos que tienen lugar en el Universo a esas frecuencias (radiación ultravioleta, rayos X, rayos gamma). Hacia el otro extremo de la ventana óptica, se encuentra la radiación infrarroja y las frecuencias que corresponden al reino de las microondas. Si bien la atmósfera terrestre también es opaca a la mayoría de las frecuencias que componen la parte infrarroja y de microondas del espectro electromagnético, existen ciertos rangos de frecuencias que (dependiendo de condiciones geográficas y meteorológicas locales) pueden ser utilizados por los astrónomos profesionales para estudiar el Universo. En estos rangos, la atmósfera es bastante transparente (equivalente a decir que toda, o gran parte, de la energía que incide sobre la parte externa de la atmósfera llega a la superficie de la Tierra). En la Figura 2 se puede apreciar la transparencia de la atmósfera en el rango de las microondas, y la dependencia de la misma con la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera. Esta última se encuentra dada por la cantidad pwv (iniciales de las palabras inglesas, *precipitable water vapor*) que aparece inserta en la parte derecha de la Figura 2. En forma simple, podría decirse que la magnitud pwv representa la altura, expresada en milímetros y dentro de un tubo cilíndrico imaginario que atravesaría toda la atmósfera, que alcanzaría la cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera dentro de ese tubo si las condiciones físicas permitieran la condensación (pasar del estado gaseoso al líquido) del vapor de agua presente en la atmósfera contenida dentro del tubo. De la Figura 2 puede concluirse que los sitios sobre la superficie de la Tierra que posean menor cantidad de vapor de agua precipitable (zonas de color rosa en la Fig. 2), son los que permitirán que las radiaciones de alta frecuencia en la banda de microondas lleguen a la superficie de la Tierra. En la Figura 2 también se nota la presencia de regiones angostas en las que la transparencia de la atmósfera llega a valores cercanos a cero (casi nada de la energía que incide a esa frecuencia sobre la parte superior de la atmósfera podría ser “recogida” por un instrumento que trabajase a esa frecuencia sobre la superficie). Esas zonas de transparencia casi nula, separan intervalos de frecuencia, más o menos anchos, en los que la transparencia atmosférica es notablemente mayor. Estas últimas zonas se denominan “ventanas” del espectro electromagnético en la banda de microondas. En dichas “ventanas” es posible observar, en la superficie de la Tierra, la energía que podría generarse en los objetos que componen el Universo. Cabe mencionar que las localizaciones geográficas con bajo contenido de vapor de agua (pwv inferior a unos pocos milímetros) se encuentran en zonas desérticas cuya altura sobre el nivel del mar supera los 4.000 metros.

Como puede apreciarse en la Fig. 1, la banda de microondas abarca un rango en frecuencias muy superior al de la ventana óptica. Las frecuencias más elevadas (del orden de 900 a 1.000 GHz) corresponden a longitudes de onda de milímetros, o de fracción de milímetro, mientras que las frecuencias más bajas (de unos pocos MHz) corresponden a longitudes de onda de metros. A bajas frecuencias, las observaciones en la ventana de microondas que pueden llevarse a cabo desde a superficie de la Tierra se encuentran limitadas por la *ionósfera*⁽⁵⁾, que atenúa enormemente las ondas con frecuencias inferiores a los 3 MHz.

La investigación tecnológica, y los enormes avances que la misma ha permitido en numerosas ramas del conocimiento, posibilitó el desarrollo de una

enorme variedad de nuevos instrumentos para la investigación de nuestro Universo. En este contexto cabe mencionar el lanzamiento de satélites que poseen a bordo instrumentos diseñados para la investigación astronómica. Con la ayuda de dichos instrumentos los astrónomos han podido llevar a cabo estudios en regiones del espectro electromagnético que eran inaccesibles desde la superficie de la Tierra. En pocos años una plétora de instrumentos ubicados a bordo de satélites han permitido llevar a cabo estudios en rayos gamma, rayos X, en el ultravioleta, y en el infrarrojo lejano.

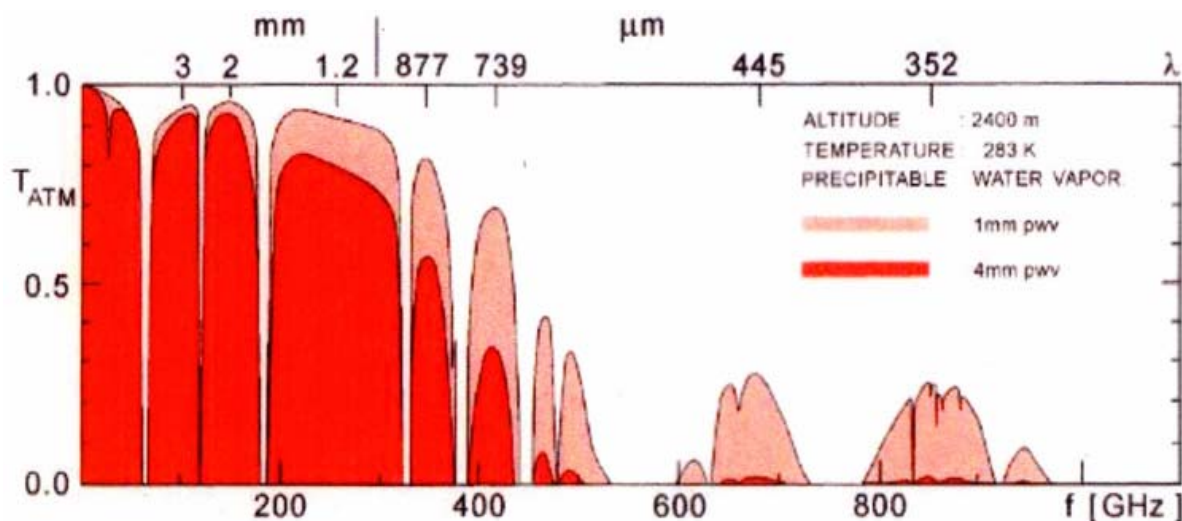


Fig. 2. Transparencia de la atmósfera en función de la frecuencia para dos valores de la cantidad de vapor de agua precipitable (pwv). Puede apreciarse que la transparencia de la atmósfera es mayor a frecuencias bajas que a altas, y que en estas últimas la atmósfera es casi totalmente opaca (T_{ATM} cercano a 0) para valores elevados de pwv . En la parte inferior del gráfico se indica la frecuencia, expresada en GHz, mientras que la longitud de onda que corresponde a una frecuencia dada se encuentra dada en el borde superior. A frecuencias inferiores a 300 GHz, la longitud de onda se encuentra expresada en milímetros, y en micrones a frecuencias superiores.

También en la ventana óptica (accesible para telescopios ubicados en la superficie de nuestro planeta) los satélites han jugado un rol de importancia. En este caso, instrumentos ubicados a bordo de los satélites observan el Universo sin que la energía que llega a los mismos sufra los efectos (centelleo, atenuación, distorsión del frente de onda, entre otros) que afectan a los estudios llevados a cabo con telescopios convencionales. Los desarrollos tecnológicos en el área de comunicaciones ocurridos en la Segunda Guerra Mundial, permitieron detectar radiaciones en la banda de radio que se originaban fuera de nuestro planeta. Estas señales, extremadamente débiles, fueron detectadas por primera vez hacia el año 1931 por el físico e ingeniero Karl Jansky, que a la sazón se encontraba trabajando para la compañía Bell Telephone Laboratories. Con una antena rudimentaria (Figura 3) que trabajaba en la frecuencia de 20 MHz (equivalente a una longitud de onda de 15 metros) el Ing. Jansky detectó radiación que se originaba en el centro de nuestra galaxia. La comunicación oficial de tal descubrimiento fue realizada el 23 de abril de 1933 en Washington D.C., Estados Unidos. Puede decirse que esa es la fecha de nacimiento de una nueva rama de la Astronomía: la Radioastronomía.

El desarrollo de las telecomunicaciones y de las técnicas de radar durante la Segunda Guerra Mundial significó un enorme impulso para el ulterior progreso de la radioastronomía.

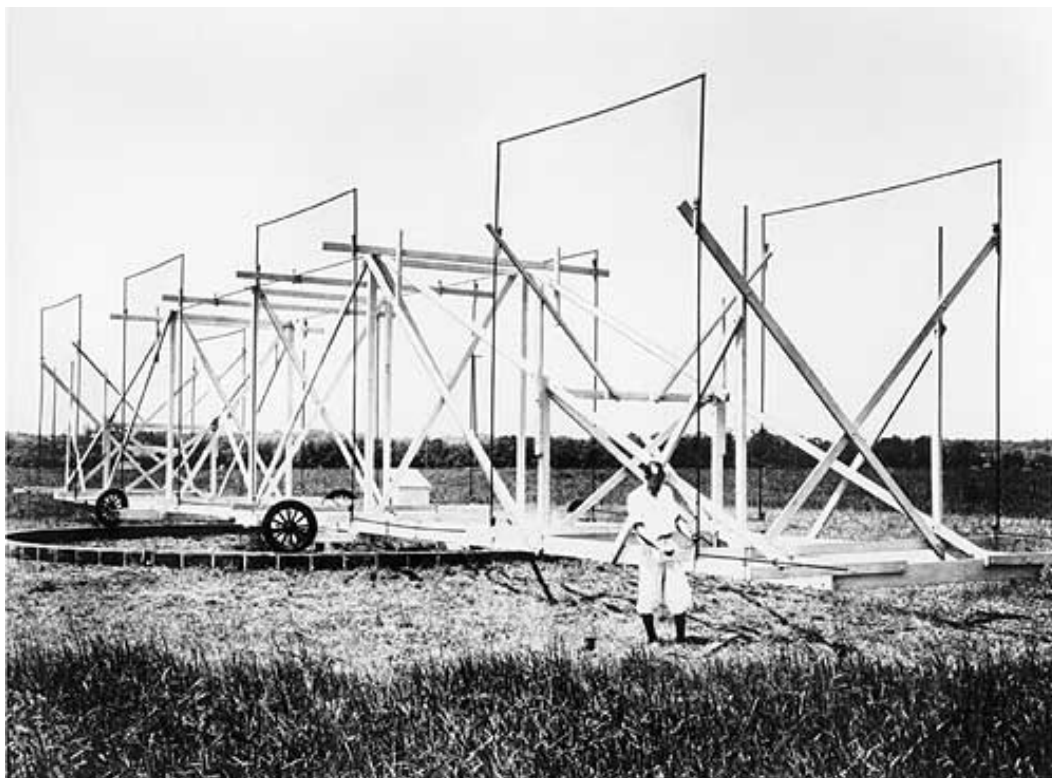


Fig. 3. Instrumento usado por el físico e ingeniero Karl Jansky (persona parada frente al instrumento), para detectar por primera vez radiación originada en el centro de nuestra galaxia, la Vía Láctea.

Radiotelescopios

Los instrumentos que se usan para la investigación astronómica en la banda de radio, se denominan radiotelescopios. Sus tamaños y formas son muy variados, y dependen principalmente del rango de frecuencias (o longitudes de onda) en el que deban trabajar.

Las ondas de radio que se reciben del espacio son extremadamente débiles por lo que se necesitan antenas de gran tamaño, para así poder recoger la mayor cantidad de energía posible. La mayoría de los radiotelescopios están constituidos por una antena parabólica que concentra la radiación que cae sobre la superficie de la parábola en un punto que se denomina foco de la parábola. Debido a que la señal es muy débil, en ese lugar (el foco del paraboloide) se instalan instrumentos electrónicos cuya principal misión es la de amplificar la señal recibida, para luego transportar la misma, pasando por una serie de dispositivos electrónicos que cumplen diversas funciones, hasta un lugar en el que la información recogida por el radiotelescopio es almacenada en computadoras, para su posterior análisis por parte del astrónomo. Los radiotelescopios pueden trabajar en distintas partes de la

ventana de radio⁽⁶⁾ (es tecnológicamente *imposible* construir un *único radiotelescopio* que sea capaz de trabajar en *todas* las frecuencias que componen la banda de radio), en frecuencias que van desde los 15 MHz (longitudes de onda de unos 20 m) hasta casi los 1.000 GHz (longitudes de onda de unos 0,3 mm). Las antenas parabólicas que componen los radiotelescopios poseen tamaños, como ya ha sido mencionado muy disímiles. Una de los parámetros importantes a definir cuando se construye una antena, es la *resolución* de la misma. Esta última puede definirse en términos simples, como la mínima distancia angular bajo la cual pueden distinguirse como separados, dos objetos que se encuentren próximos. Cuando mayor sea la resolución angular, se podrán apreciar mayores detalles del objeto bajo estudio. En términos cualitativos, puede decirse que para un radiotelescopio de un tamaño dado, la resolución angular se incrementa (se pueden apreciar mayores detalles) cuando la longitud de onda disminuye. De la misma manera, si se mantiene fija la longitud de onda, la resolución angular se incrementa si el tamaño del radiotelescopio se incrementa (la antena posee mayor tamaño). Por una convención, se dice que la resolución angular de un instrumento se incrementa cuando disminuye la distancia angular entre los dos puntos que puede distinguir separados. El mayor radiotelescopio del mundo posee un diámetro de 305 m (Figura 4) y se encuentra en Arecibo, Puerto Rico.



Fig. 4. Radiotelescopio de Arecibo, Puerto Rico. La superficie del instrumento posee un diámetro de 305 metros. Para mayor información visitar el sitio <http://www.naic.edu>

Otra característica técnica de un radiotelescopio es su *sensibilidad*. Esta última se define como la capacidad de detectar objetos débiles. Un objeto es débil cuando el radiotelescopio recibe poca energía del objeto bajo estudio, ya sea porque el mismo se encuentra lejos o porque emite poca radiación. En aras del cabal

entendimiento de este concepto por parte del lector, permítaseme un ejemplo no demasiado académico. Imaginemos que la energía que llega desde los objetos celestes al radiotelescopio es visualizada como una “lluvia”. Cada gota de esa “lluvia” lleva consigo una parte de la energía emitida por el objeto. Continuando con nuestro ejemplo, imaginemos que el radiotelescopio, cuya función es “colectar” la energía que proviene del objeto, es un paraguas invertido. En este caso se entiende fácilmente que nuestro hipotético radiotelescopio (¡el paraguas!) recogerá mayor cantidad de energía (gotas de lluvia, en nuestro ejemplo) cuando mayor tamaño posea. Cuando mayor es la energía que mi instrumento es capaz de recoger (colectar) más fácil será la detección del objeto. En el mundo tecnológico real, el ejemplo anterior significa que un radiotelescopio será más sensible cuando mayor sea la superficie de su antena. A modo de ejemplo de la sensibilidad que poseen los radiotelescopios, valga el siguiente ejemplo. Supongamos que una lámpara de 100 W de filamento incandescente en vez de emitir energía lumínica emitiese la misma potencia en la banda de las microondas. Dentro de esta última, supongamos que la emisión se encuentra concentrada en un pequeño rango de frecuencias alrededor de 1.420 MHz. La pregunta es, ¿A que máxima distancia del radiotelescopio debería ubicar la lámpara para que la potencia emitida por la misma sea detectable por un radiotelescopio? La respuesta es sorprendente: tal lámpara serían detectable por uno de los radiotelescopios del Instituto Argentino de Radioastronomía (el diámetro de la antena es de 30 metros) a una distancia máxima de 1.170 millones de kilómetros. Esta enorme distancia equivale a ubicar la lámpara a una distancia equivalente a casi 8 veces la distancia de la Tierra al Sol. Esta última es de unos 150 millones de kilómetros.

Las necesidades científicas de observar objetos con mayor detalle (lo que requiere incrementar la resolución angular), la imposibilidad constructiva de incrementar indefinidamente el tamaño físico de las antenas, ha llevado a que los radioastrónomos desarrollen la técnica conocida como *interferometría*.

Un interferómetro es un grupo de antenas que funciona simultáneamente (todas apuntan al mismo lugar de cielo en el mismo momento) combinando las señales recibidas por cada una de ellas en un dispositivo electrónico especial denominado “correlador”. De esta forma se alcanza una resolución angular muy elevada, equivalente a la que se obtendría con un instrumento que tuviese un diámetro igual a la distancia que existe entre las antenas más alejadas del interferómetro. Las antenas individuales del interferómetro pueden estar separadas por distancias de varios kilómetros y encontrarse todas unidas al “correlador” por cables (Figura 5), encontrarse en distintos continentes. En este último caso las antenas no se encuentran físicamente conectadas entre sí. En este caso, las señales que se reciben del objeto que se estudia son grabadas, junto con señales de tiempo muy precisas de relojes atómicos, en dispositivos especiales en cada radio observatorio. A posteriori, los datos obtenidos en los distintos radio observatorios son llevados a un centro especial de procesamiento, donde computadoras procesan la información obtenida por los distintos observatorios de forma tal que “simulan” un interferómetro constituido por antenas conectadas entre sí. Esta última técnica se denomina Interferometría de Línea de Base muy Larga (VLBI, acrónimo derivada del inglés *Very Long Baseline Interferometry*). Recientemente, con los avances tecnológicos disponibles y usando redes dedicadas exclusivamente al transporte de

datos vía Internet, se ha logrado llevar a cabo experimentos de VLBI en casi tiempo real. Esta novedosa técnica se denomina e-VLBI.



Fig. 5. Interferómetro del Very Large Array (VLA). Consta de 27 antenas de 22 m de diámetro cada una. Cada una de las antenas puede moverse a lo largo de rieles, cuyo diseño sobre el terreno se asemeja al de una gigantesca letra Y. Cada “pata” de la Y posee una extensión máxima de 21 km. La máxima distancia entre las antenas es del orden de 36 km. Para mayor información visitar el sitio <http://www.vla.nrao.edu>.

La mejora de los instrumentos usados en astronomía, va de la mano del avance tecnológico. En los próximos años, poderosos instrumentos radioastronómicos, que prometen revolucionar la investigación en el campo, entrarán en funcionamiento. En este sentido cabe mencionar dos instrumentos. Uno es el denominado Atacama Large Millimeter Array (ALMA), y el otro es el Square Kilometre Array (SKA). El primero es un interferómetro constituido por 66 antenas de 12m de diámetro cada una, que se encuentra en construcción en el Llano de Chajnantor, a 5.000 metros de altura y 60 km al este de la localidad de San Pedro de Atacama, en el desierto chileno de Atacama. El proyecto ALMA es una colaboración entre Europa, Japón y Norteamérica en cooperación con la República de Chile, y el costo del instrumento alcanza los 1.200 millones de dólares estadounidenses. Se espera que empiece a funcionar hacia fines del año 2012. Este instrumento trabajará entre las longitudes de onda de 350 micrómetros y 10 mm y alcanzará una resolución angular máxima de 10 milisegundos de arco (¡equivale a distinguir una moneda de 1\$ de curso legal de la República Argentina ubicada a una distancia de 8,3 km!). Este proyecto, entre sus múltiples objetivos científicos, será clave para el estudio de los procesos que conducen a la formación de estrellas, y para los estudios relacionados con la química de las moléculas en el medio interestelar. Por

su parte, el instrumento SKA, será un interferómetro gigantesco cuya superficie colectora será equivalente a un kilómetro cuadrado (¡100 hectáreas!), y operará en el rango de frecuencias que va de aproximadamente 100 MHz hasta 30 GHz. A mediados del año 2007, luego de numerosos estudios de diversa índole (desde meteorológicos, geofísicos, sísmicos, económicos, y hasta de estabilidad política) que demandaron más de cinco años de trabajo, un grupo de expertos concluyó que los proyectos con mejores condiciones globales para instalar el instrumento SKA, eran los presentados por Australia/Nueva Zelanda y Sudáfrica. Cabe mencionar que hasta ese momento sólo cuatro proyectos para albergar el SKA habían quedado en pie: los de Argentina/Brasil, Australia/Nueva Zelanda, China, y Sudáfrica. Las antenas individuales que constituirán el mismo se encontrarán concentradas en una zona central denominada núcleo del sistema, y las más alejadas se encontrarán diseminadas sobre un enorme círculo de unos 3.000 km de diámetro.

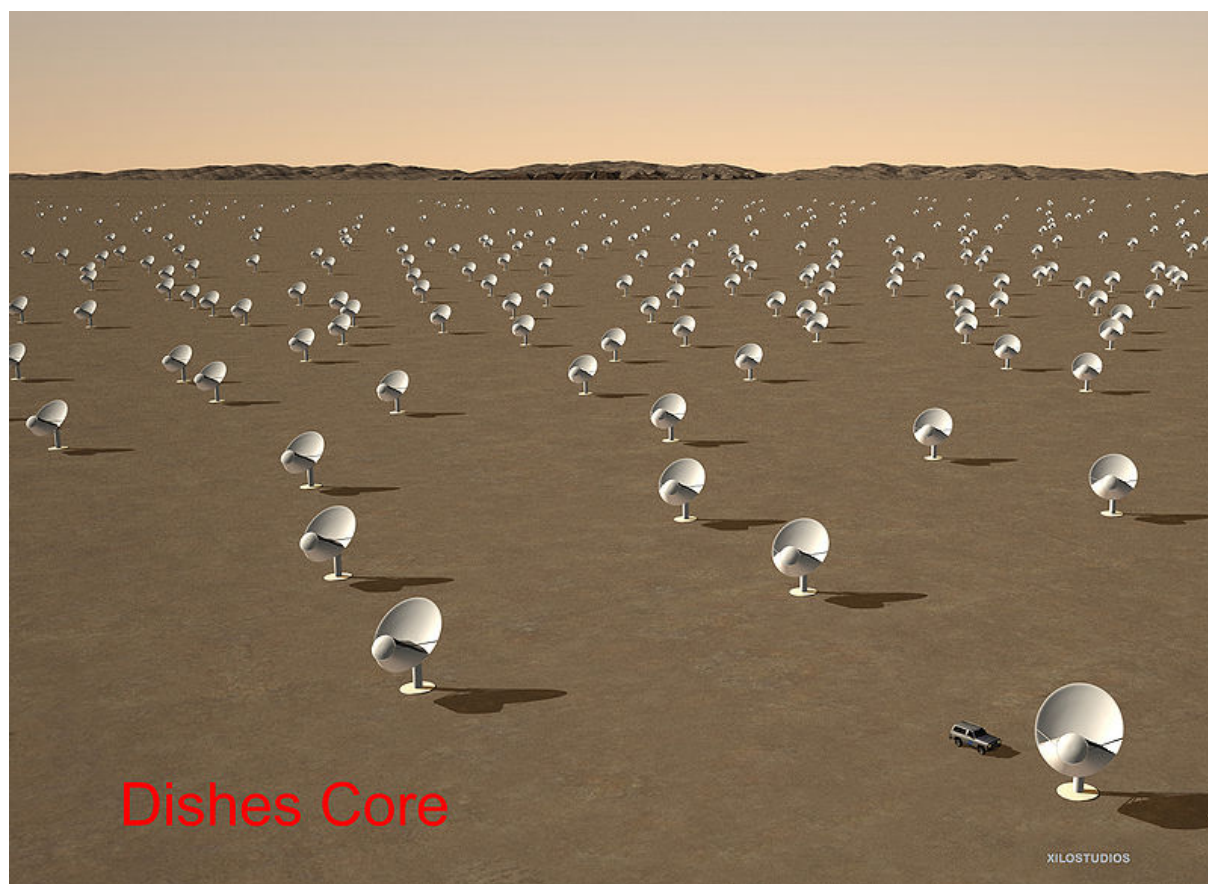


Fig. 6. Representación artística de las antenas que constituyen el núcleo del proyecto SKA. Puede apreciarse que las mismas se encuentran dispersas sobre una gran área y en posiciones fijas. (Dibujo artístico extraído del proyecto SKA (http://www.skatelescope.org/PDF/brochure/SKABrochure_2008.pdf)). (Para mayor información sobre el proyecto ver <http://www.skatelescope.org>).

Las señales de las distintas antenas viajarán, en tiempo real (al mismo momento que las antenas se encuentran adquiriendo los datos), por medio de enlaces de fibra óptica de elevadísima velocidad hasta un centro de procesamiento

muy sofisticado. Este instrumento podrá detectar objetos unas 50 veces más débiles que los más débiles que hoy día se conocen, y tendrá la capacidad, gracias a la tecnología que incorporará, de apuntar simultáneamente en diversas direcciones del cielo. El presupuesto total de este proyecto ronda los 1.500 millones de euros, y entraría en operaciones en el 2017 y se encontraría completamente terminado hacia el 2023. Algunos de los objetivos científicos que se persiguen con la construcción de este instrumento son: 1) ¿Qué sucedió *luego* de la formación del Universo en el Big Bang y *antes* de que se formaran las primera estrellas?; 2) ¿Qué se formó primero, las estrellas o las galaxias?; 3) ¿Cómo se forman las galaxias como evolucionan?; 4) ¿Cuáles la naturaleza de la misteriosa energía oscura?; 5) ¿Cuál es el origen del magnetismo que se observa en el Universo?; 6) ¿Cómo afecta el magnetismo la formación de las galaxias y de las estrellas?; 7) Búsqueda de planetas alrededor de otras estrellas; 8) Búsqueda de otras civilizaciones en nuestro Universo. La lista de objetivos es enorme, y valgan los mencionados a modo de ejemplo de la diversidad de los mismos.

La radioastronomía ha permitido realizar descubrimientos de enorme importancia como, sólo por mencionar algunos dentro de una larguísima lista, los cuásares, los púlsares, los púlsares de milisegundo, las galaxias activas, el fondo cósmico de microondas, y la mayor parte de las moléculas existentes en el medio interestelar. El avance científico y tecnológico provocado por todos estos descubrimientos ha sido tan importante, que cinco premios Nobel han sido otorgados a investigadores que han realizado importantes contribuciones en este campo, a saber: M. Ryle (en 1974 por el desarrollo de la síntesis de apertura, técnica que hace posible la interferometría), A. Hewish (en 1974 por el descubrimiento de los púlsares), A. Penzias y R. Woodrow (en 1978 por el descubrimiento de la radiación de fondo cósmico), R. Hulse y J. H. Taylor (en 1993, por el descubrimiento de los pulsares de milisegundo) y, J. Mather y G. Smooth (en 2006, por las medidas del fondo cósmico que apoyan la teoría del Big Bang).

Los radiotelescopios también han servido para inferir la presencia de materia oscura en el Universo y han sido utilizados en todos los campos de la astrofísica: desde el estudio del Sol y la elaboración de los primeros "mapas" (mediante el uso de técnicas de radar) de algunos planetas y asteroides del Sistema Solar, hasta la detección de las galaxias más lejanas conocidas en nuestro Universo.

Es imposible en un artículo de difusión como este, incursionar (¡aunque sea brevemente!) en los distintos campos de investigación que podrían beneficiarse con el uso de radiotelescopios. Sin embargo, permítaseme mencionar una importante diferencia entre las investigaciones que se llevan a cabo en la ventana óptica, y aquellas que se realizan en la ventana de las microondas. En la *astronomía óptica* se observa energía originada mayoritariamente en estrellas, mientras que la radiación que se estudia en la ventana de radio se origina principalmente en material que se encuentra ubicado entre las estrellas. Este material, que está constituido por gas y polvo sometidos a condiciones físicas muy particulares, se denomina medio interestelar. En algunos lugares del medio interestelar se han encontrado nubes frías (temperaturas cercanas a los -260 C) y densas (con una densidad de partículas enormemente superior a la que normalmente se encuentra en el medio interestelar, 1 partícula/cm^3) las que se encuentran constituidas principalmente por material

molecular. En esos objetos, denominados “nubes moleculares”, se estarían formando nuevas generaciones de estrellas. En otras zonas, las estrellas ya formadas podrían estar interactuando con este medio, calentándolo (a temperaturas que podrían llegar a varios millones de grados) y variando su composición química por medio de la pérdida de masa que ocasionan los vientos estelares. En una galaxia “típica”, el medio interestelar posee una fracción importante de la cantidad total de materia presente en la galaxia.

Los cambios de energía en los átomos, iones ⁽⁷⁾ o moléculas que constituyen el medio interestelar, producen emisiones muy angostas a una frecuencia tal que dichas emisiones pueden ser observadas en la banda de radio. Estas frecuencias son características, una especie de huella digital, de las especies que las originan y de las propiedades físicas del medio en el que se originan. Estas observaciones reciben el nombre genérico de *observaciones espectroscópicas*. Además, si las regiones del espacio en las que se encuentran las especies atómicas o moleculares, se están moviendo como un todo o el material que las componen se encuentra en movimiento, se producen por efecto Doppler ⁽⁸⁾ pequeños cambios en las frecuencias emitidas por los átomos o moléculas, lo que permite determinar la velocidad con la que se mueve el material. El resultado importante es que observando “las emisiones espectrales” es factible analizar la composición química del medio interestelar; deducir la cantidad de materia presente; y conocer como se está moviendo dicha región respecto del observador. En los referente a moléculas, se han encontrado en el medio interestelar entre las estrellas) y circumestelar (cercano a las estrellas) cerca de 126 especies moleculares. Algunas corresponden a moléculas diatómicas (formadas por dos especies de átomos distintas) como el monóxido de carbono (CO), hasta moléculas tan complejas como el formiato de etilo (C₂H₅OCHO) y el n-propil cianuro (C³H⁷CN). La glicina (NH₂CH₂COOH), el amino ácido más simple, no ha sido identificado todavía en las nubes moleculares. A fin de ilustrar algunas de las contribuciones realizadas a la Astronomía por la radioastronomía, valga mencionar que la primera transición espectroscópica que fue observada en la banda de radio, corresponde a la denominada línea de 21-cm del hidrógeno neutro. La referencia “21-cm” hace mención de la longitud de onda que corresponde a esa emisión. ¿Porqué el átomo de hidrógeno y no otra especie atómica como el helio, carbono, nitrógeno, oxígeno, etc. fue la primera es ser detectada? La respuesta es simple: el átomo de hidrógeno es la especie atómica que mayor abunda en el Universo que conocemos. El mismo representa el 90% de la materia que conocemos, el helio un 7% y todas las otras especies atómicas contribuyen con sólo un mero 3%. La línea de hidrógeno atómico fue detectada por primera vez, en forma casi simultánea e independiente, hacia inicios de 1950 por grupos de radioastrónomos estadounidenses, australianos y holandeses. Estas investigaciones han permitido conocer la forma que tiene la Vía Láctea, que es la galaxia en la que el Sol y su sistema planetario se encuentran ubicados. En la Figura 7, se muestra la estructura en espiral de la Vía Láctea, tal como sería visible a un hipotético observador ubicado fuera de la misma.

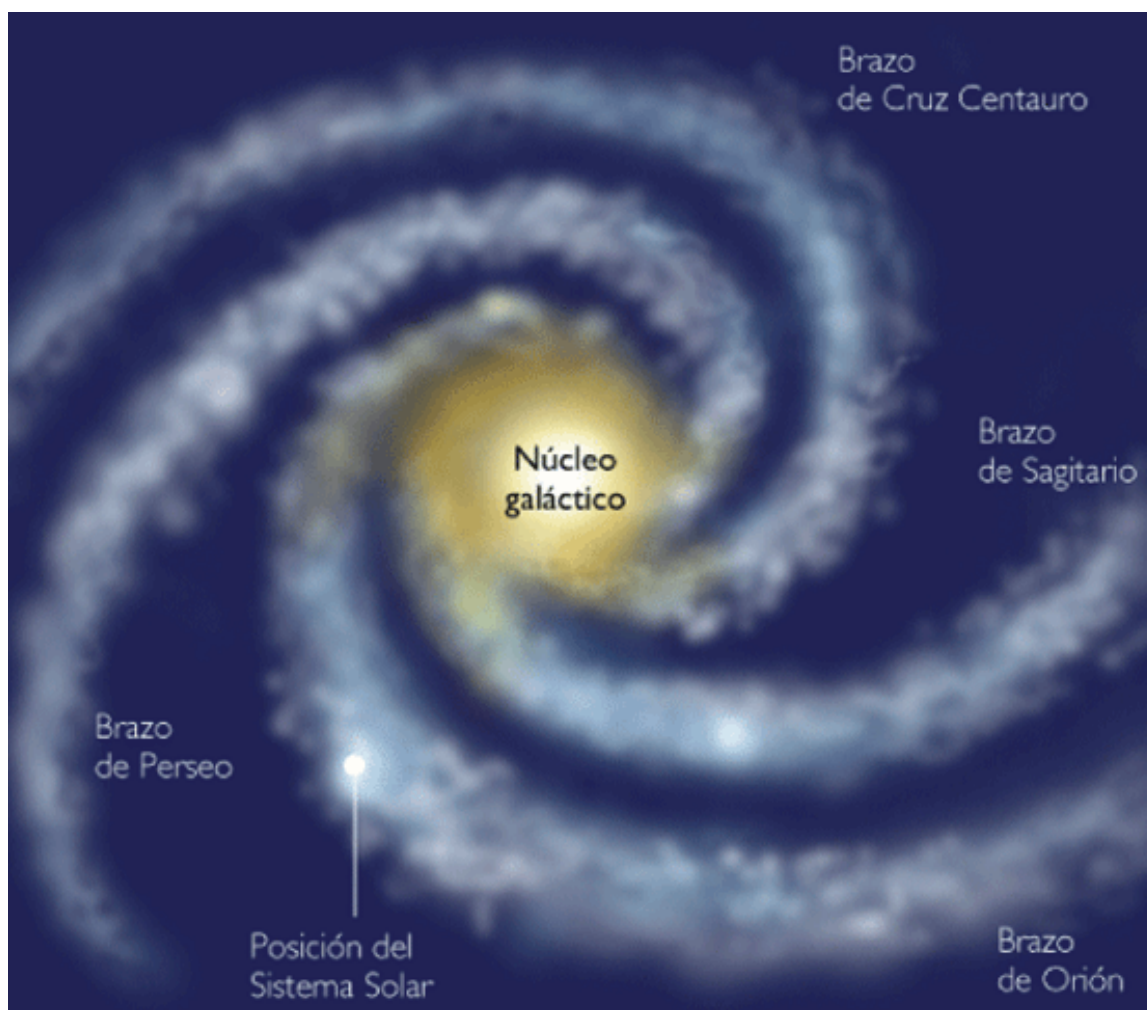


Fig. 7. Distribución espacial del hidrógeno neutro en la Vía Láctea, derivada a partir de las observaciones. Los datos indican que en la Vía Láctea el hidrógeno atómico se encuentra concentrado a lo largo de "brazos" que tiene confieren a la Vía Láctea una estructura en forma de espiral. También puede apreciarse que en la parte central se destaca una estructura más brillante (intensa) que corresponde al núcleo de la galaxia. Como puede apreciarse, el Sol se encuentra ubicado en un brazo en espiral.

En la Fig. 7 se indica la posición del Sol, y su sistema planetario, dentro de la Vía Láctea. La distancia del Sol al núcleo de la galaxia es de unos 27.700 años luz ⁽⁹⁾.

Vista en forma lateral, la Vía Láctea se asemeja a la estructura mostrada en la Figura 8. En dicha figura puede apreciarse que la estructura en forma de espiral se extiende a ambos lados del núcleo de la galaxia, como una estructura muy delgada.



Fig. 8. Vista lateral de una galaxia en espiral como la Vía Láctea. La franja que se aprecia en la imagen corresponde a pequeñas partículas, que constituyen lo que se denomina polvo interestelar, que bloquean parcialmente (de ahí que se vea una franja oscura) la luz emitida por las estrellas y el gas del medio interestelar. Se puede apreciar claramente el núcleo de la galaxia.

Muchas interacciones entre iones y electrones, entre electrones y campos magnéticos, producen una variedad de pulsos de energía cuya frecuencia cae en la ventana de radio. La intensidad, frecuencia de emisión, y ancho en frecuencia de dichos pulsos es variable. La superposición de un gran número de los mismos, produce una emisión que puede ser observada en un rango muy amplio de frecuencias. Esta radiación recibe el nombre genérico de *radiación de continuo*, y la observación de la misma recibe el nombre de *observación de continuo*. Tal radiación pueden originarse en una variedad de procesos físicos, y su estudio requiere la posibilidad de observar en frecuencias muy disímiles. En algunos casos esta emisión también podría encontrarse polarizada ⁽¹⁰⁾. En este último caso, usualmente campos magnéticos se encuentran involucrados, y el análisis de la radiación de continuo

permite derivar propiedades tanto de la fuente en la que se origina la radiación como del medio interestelar en el que se propaga la misma.

En términos generales todos los objetos presentes en el Universo emiten radiación electromagnética en todas las frecuencias de dicho espectro. Sin embargo, en muchas ocasiones la intensidad de la emisión de estas fuentes en frecuencias que caen fuera de la ventana de radio es extremadamente débil, de modo que las mismas sólo pueden ser estudiadas con técnicas radioastronómicas.

La radiación que se observa en la banda de radio (sea esta de continuo u originada en átomos, iones o moléculas) puede ser constante en el tiempo, o mostrar variaciones temporales en escalas de tiempo que van desde los milisegundos hasta varios años.

En la ventana de radio las señales que se observan son generalmente muy débiles para los estándares terrestres. En estas condiciones la presencia de señales “*artificiales*” (originadas en la actividad humana) a lo largo del espectro electromagnético representa una seria amenaza para las observaciones radioastronómicas. Estas señales *artificiales*, que usualmente son mucho más intensas que las radiaciones recibidas de los cuerpos celestes y suelen ser variables en el tiempo, reciben el nombre de *interferencias*. Si la cantidad de interferencias siguiese incrementándose, el futuro de los estudios radioastronómicos llevados a cabo con observatorios ubicados en la superficie terrestre se vería seriamente comprometido.

Bibliografía

- Arnal E. M., Morras R., García Lambas D. R., y. Recabarren P. G. A (2009) ¿Dónde instalamos el telescopio?. Ciencia Hoy, Vol. 11, No. 110, 57-62.
- Cohen J., Spoelstra T., Ambrosini R., y Van Driel W. (eds.) (2005). CRAF Handbook for Radio Astronomy, European Science Foundation, accesible (febrero de 2009) en <http://www.craf.eu/handbook.htm>
- Estalella R.y. Anglada G (2008). Introducción a la física del medio interestelar. Departament d’Astronomia i Meteorologia, Universitat de Barcelona.

Edmundo Marcelo Arnal. Doctor en Astronomía. Profesor Titular con dedicación exclusiva en la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la UNLP; Investigador Principal en la Carrera del Investigador Científico del CONICET. Director del Instituto Argentino de Radioastronomía <http://www.iar.unlp.edu.ar>. Publicaciones científicas internacionales (con referato por pares): noventa (90). Publicaciones científicas nacionales: diez (10). Presentaciones en Congresos Nacionales e Internacionales: Director de Becarios, Tesis de Doctorados y grupos de investigación..

Glosario

⁽¹⁾ Radiación electromagnética

La radiación electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos oscilantes, que se propagan a través del espacio transportando energía de un lugar a otro del mismo. Las ondas electromagnéticas poseen una propiedad que se denomina longitud de onda (λ), que representa la distancia entre dos crestas consecutivas. La longitud de onda es inversamente proporcional ($\lambda=c/v$) a la frecuencia (v). La constante c indica la velocidad de la luz. La unidad de medida de la frecuencia es el Herz (Hz). Múltiplos de esta unidad son el MHz ($=10^6$ Hz) y el GHz ($=10^9$ Hz).

⁽²⁾ Espectro electromagnético.

El espectro electromagnético es el conjunto de longitudes de onda de todas las radiaciones electromagnéticas. Abarca desde los rayos gamma hasta las ondas de radio, pasando por los rayos X, la radiación ultravioleta, la luz visible, y la radiación infrarroja.

⁽³⁾ Nanómetro

El nanómetro es la unidad de longitud que equivale a una milmillonésima parte de un metro

⁽⁴⁾ Notación científica

La notación científica es un modo conciso de representar un número utilizando potencias de base diez. Los números se escriben como un producto: $a \times 10^n$, (siendo a un número mayor o igual que 1 y menor que 10, y n un número entero). En esta notación un millón se expresa como 1×10^6 (o directamente 10^6). Esta notación se utiliza para poder expresar fácilmente números muy grandes o muy pequeños.

⁽⁵⁾ Ionosfera

La ionosfera es la parte de la atmósfera terrestre que posee en forma permanente una gran cantidad de partículas cargadas de electricidad que son originadas por la radiación solar que incide sobre la atmósfera terrestre. Esta capa se extiende, aproximadamente, entre los 80 y 500 Km. de altura.

⁽⁶⁾ Ventana de radio

La misma se encuentra definida por el rango de frecuencias (o longitudes de onda) en el que la atmósfera terrestre permite el paso hasta la superficie de la Tierra, de la radiación originada fuera de la misma. La misma comprende longitudes de onda que van desde varios metros hasta fracciones de milímetro.

⁽⁷⁾ Ión

Un ión es una especie química, ya sea átomo o molécula, cargado eléctricamente en forma positiva (si la especie neutra pierde electrones) o negativa (si la especie neutra gana electrones)

⁽⁸⁾ Efecto Doppler

Cuando un objeto en movimiento se acerca al observador, las ondas que emite dicho objeto llegan al observador con una frecuencia ligeramente mayor (si el objeto se acerca) o menor (si el objeto se aleja). Este fenómeno se denomina efecto Doppler.

⁽⁹⁾ Año-luz

Es la distancia que recorre la luz en el vacío durante un año, teniendo en cuenta que la velocidad de la luz es de casi 300.000 km/seg. Equivale a 9,46 billones de kilómetros.

⁽¹⁰⁾ Polarización

Una onda electromagnética, como las ondas observadas en la ventana de radio, es una onda transversal compuesta simultáneamente por un campo eléctrico y un campo magnético, que oscilan perpendicularmente entre sí. En una onda no polarizada el campo eléctrico oscila en todas las direcciones normales a la dirección de propagación de la onda. Cuando el campo eléctrico de una onda electromagnética oscila sólo en un plano determinado, se dice que la onda se encuentra polarizada.