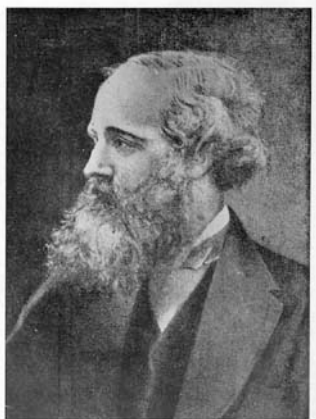


2.17. El Nacimiento de la Radioastronomía.

2.17.1 Introducción:

Hacia mediados del siglo XIX el físico teórico escocés **James Clerk Maxwell** (1831-1879) inició sus estudios de los fenómenos electromagnéticos. A comienzos del siglo XIX el brillante experimentador inglés **Michael Faraday** (1791-1867) había hecho grandes descubrimientos en el área, pero sin llegar a formalizarlos matemáticamente. En 1831 Faraday descubrió la ley de inducción que lleva su nombre. En forma paralela el físico norteamericano **Joseph Henry** (1797-1878) descubre también la inducción (un campo magnético variable induce una corriente eléctrica en una espira). Henry descubrió la inducción en 1830 pero dudó acerca de su descubrimiento y por ello no lo publicó con rapidez, cosa que sí hizo Faraday en Inglaterra, ganando con ello la prioridad del descubrimiento.



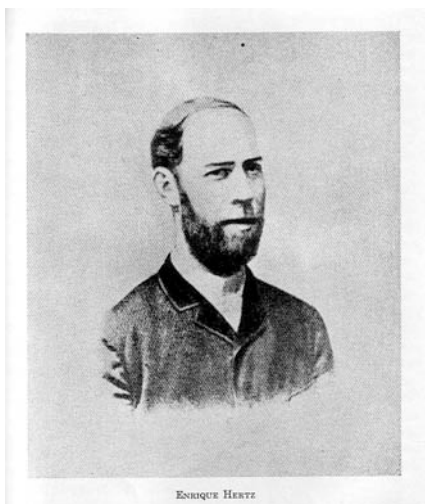
James Clerk Maxwell (1831-1879).

Maxwell, al darle forma matemática a los descubrimientos de Faraday llegó a la sorprendente conclusión que un cambio en el campo eléctrico daba origen a un campo magnético e inversamente un cambio en el campo magnético crea un campo eléctrico. Aún más sorprendente fue para él darse cuenta que en esos campos cambiantes se retro-alimentan y se pueden propagar a través del espacio como una onda, con la fuerza eléctrica y magnética oscilando perpendiculares entre sí y también a la dirección de propagación. Las ecuaciones de Maxwell incluso predicen la velocidad de tales ondas, que curiosamente resulta ser igual a la cantidad de unidades electrostáticas de carga contenidas en una unidad electromagnética de carga. Dicho número había sido medido y Maxwell predijo que las ondas electromagnéticas se propagarían con una

velocidad de $3,1 \times 10^{10}$ cm/seg que, dentro de los errores experimentales, era igual a la velocidad de la luz.

A ojos de Maxwell esto finalizaba el debate acerca de la naturaleza de la luz. La luz es simplemente una onda electromagnética. La comunidad científica de la época no lo aceptó y en 1879, al morir Maxwell prematuramente, sus ideas hacían un lento progreso en los círculos científicos universales. Su obra monumental sobre electrodinámica tendría que esperar unos años para ser apreciada cabalmente.

La teoría de Maxwell tuvo su gran apoyo gracias a los experimentos del joven científico alemán **Heinrich Hertz** (1857-1894), quien en 1888 produjo ondas de electromagnéticas en el laboratorio (ondas electromagnéticas de longitudes de onda muy superiores a las de la luz). En su experimento Hertz producía una descarga de una chispa producida por un alto voltaje que inducía una pequeña descarga en una espira cuyos extremos estaban muy cerca. Utilizando un reflector Hertz produjo interferencia y midió una longitud de onda de 5 metros para la radiación que produjo en el laboratorio.



Heinrich Hertz (1857-1894).

Producir y detectar ondas hertziana se transformó en una actividad muy solicitada, en todas partes del mundo, pues estaban claro desde un comienzo su enorme potencialidad en comunicaciones, la posibilidad de enviar información por “el aire” en lugar de hacer telegrafía por un alambre.

Varios grupos intentaron detectar ondas hertzianas del Sol. Entre ellos se puede citar al propio **Tomás Alva Edison** (1847-1937), el gran inventor norteamericano. En Inglaterra a Sir **Oliver Lodge** y los alemanes **J. Wilsing** y **J. Scheiner**. Todos ellos intentaron sin éxito detectar ondas de radio del Sol, antes de fines del siglo XIX.

Un joven estudiante de doctorado en la universidad de París, **Charles Nordmann** (1881-1940) quiso mejorar el trabajo de los alemanes y pensando que la atmósfera terrestre pudiese evitar el paso de las ondas electromagnéticas subió a 3.100 metros de altura sobre el nivel del mar, a un glaciar en el Mont Blanc, en los Alpes. Su

detector lo potenció con un cable de 175 metros que puso horizontalmente sobre el glaciar. Inexplicablemente Nordmann sólo observó el 19 de Septiembre de 1901 y sus resultados fueron negativos. Sorprende la impaciencia del joven francés, pues de sus propios escritos se desprende que él no esperaba una emisión continua sino ráfagas, asociadas con tormentas solares. Con una notable intuición el predijo que dichas ráfagas podrían estar asociadas con la presencia de manchas solares y lamentó que en el 1901 el Sol hubiese estado en un mínimo de actividad en su ciclo de 11 años. Parece que si Nordmann hubiese utilizado su equipo con paciencia, en un período de máxima actividad solar, pudo haber sido el primero en detectar radiación electromagnética proveniente del espacio exterior. Imperdonablemente Nordmann no perseveró en su intento. Habrían de pasar cuatro décadas para que se detectaran radio-ondas del Sol.

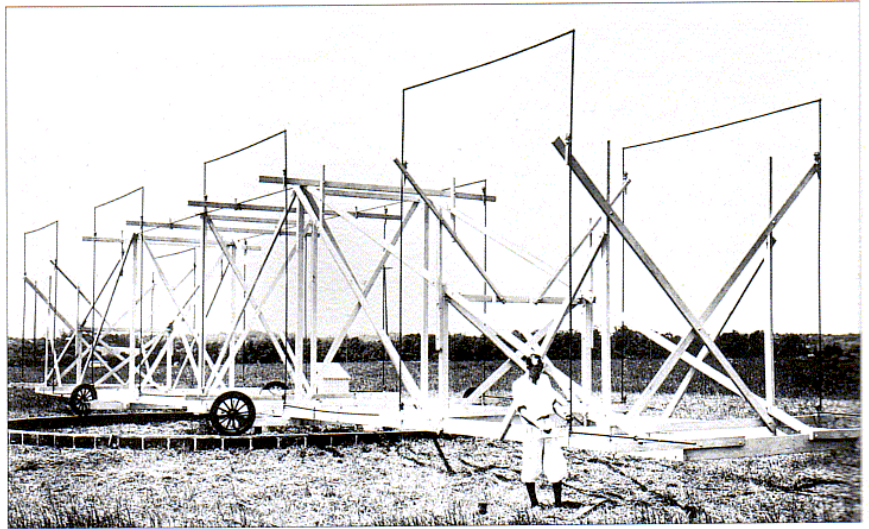
2.17.2 Karl Jansky detecta la Vía Láctea:

El ingeniero eléctrico **Karl Guthe Jansky** (1905-1950), nacido en Norman, Oklahoma, Estados Unidos, trabajaba en 1932 para la Bell Telephone Company investigando las fuentes de interferencia para las comunicaciones transatlánticas, recientemente inauguradas por la Bell. Karl estudió en la Universidad de Wisconsin, donde obtuvo un grado de Bachiller en Física (B.Sc.) en 1927. En 1928 entró a trabajar para la Bell en Holmdel, New Jersey, donde debía investigar las propiedades atmosféricas y ionosféricas frente a las “ondas cortas” para un radio teléfono para comunicaciones transatlánticas.

Para ello Jansky construyó una antena de 30 metros de longitud y 4 metros de alto, montada horizontalmente en una plataforma con ruedas que permitían girarla 360°; la antena operaba en 20,5 MHz. Con su antena, apuntando al cenit, Jansky detectó una “interferencia” (una señal) que parecía venir del cielo, todos los días a la misma hora. La señal duraba un par de horas. Primero pensó que podía estar viniendo del Sol pero al obtener un mayor número de observaciones se dio cuenta que el período no era exactamente 24 horas sino 23 horas 56 minutos; esa es la longitud del día sideral.

[Se define un día sideral como el intervalo de tiempo entre dos tránsitos consecutivos de una estrella por el mismo meridiano; en un año el Sol “pierde una vuelta” en relación a las estrellas; el Sol gira 365,25 días mientras las estrellas giran 366,25 veces. Por ello la relación entre el día sideral y el día solar está dado por el cociente $366,25/365,25$; el día sideral es más corto que el día solar medio por un factor $365,25/366,25=0,99727$. Como el día sideral tiene 24×60 minutos = 1.440 minutos el día sideral tiene $0,99727 \times 1.400 = 1396$ minutos esto es un día menos 4 minutos].

The antenna constructed by Karl Jansky (seen in the foreground). It had wheels that permitted it to be rotated in any horizontal direction. Jansky found that in addition to irregular sounds, such as the crackle of lightning, he was receiving a hissing that varied in intensity with a period four minutes short of 24 hours – that is, the period of the rotation of the heavenly sphere. The hissing proved to be coming from the Milky Way.



Jansky concluyó hacia fines de 1932 que las ondas electromagnéticas por él detectadas en una frecuencia de 20,5 MegaHertz (equivalentes a 14,5 metros) provenían de la Vía Láctea, de una zona en el cielo de 18 horas de Ascensión Recta, que podía ser, en su opinión, el centro galáctico, en declinación -30° en la constelación de Sagitario o podía provenir de la constelación de Hércules en declinación $+30^\circ$. La radiación por él detectada es emitida por el centro galáctico, en Sagitario.



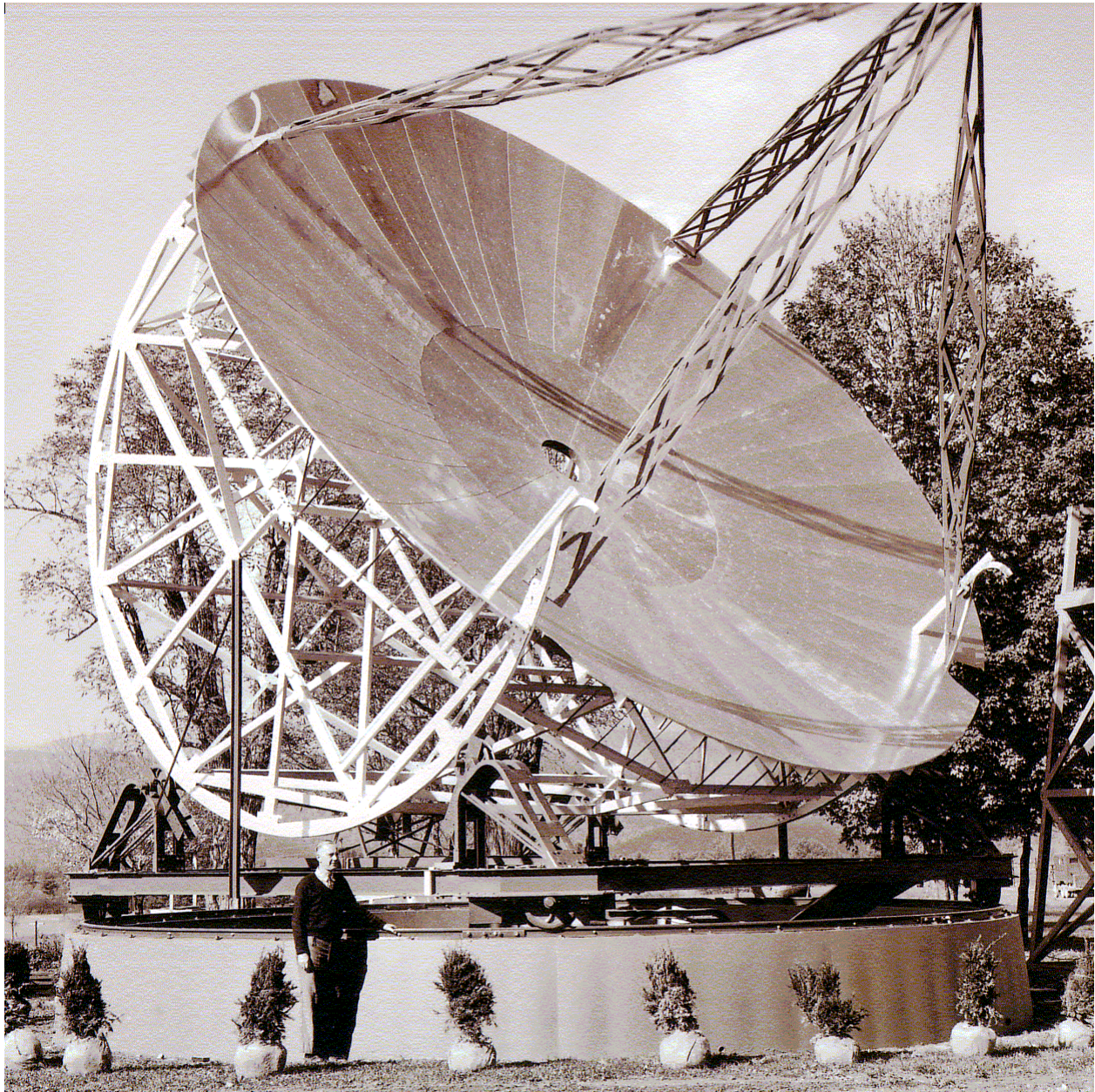
In the 1930s, Bell Telephone engineer Karl Jansky (1905–1950), left, built this unusual rotating antenna in a field near Holmdel, New Jersey (far left), and discovered radio waves coming from the sky. His work led to the birth of an entire field of study: radio astronomy.

Jansky publicó su descubrimiento en Diciembre de 1932 en la revista "*Proceeding of the Institute of Radio Engineer*" y los presentó en Abril de 1933 en una reunión de la "*International Union for Radio Science*". Sus resultados los reportó el *New York Times* el 14 de Mayo de 1933. El presentó un trabajo en la reunión de Detroit del Instituto de Radio Ingenieros, en 1935, pero sólo asistieron a escucharlo 20 personas. Sus resultados también fueron ignorados por los astrónomos que estaban demasiado orientados hacia la astronomía óptica y con ello los resultados de Jansky les parecían "demasiado exóticos". Jansky quiso construir una antena parabólica para detectar radiación a frecuencias más altas pero la Bell le pidió que se involucrara en otros estudios y sus trabajos fueron descontinuados.

El ingeniero eléctrico norteamericano **Grote Reber** (1911-2002) leyó los trabajos de Jansky y construyó una antena parabólica de 10 metros de diámetro con una montura azimutal para continuar con los trabajos de Jansky. En 1937 quiso detectar ondas de frecuencias más altas, pensando que si se tratase de radiación térmica la señal debería crecer con la frecuencia. Sus intentos detectar radiación en 3.300 MHz y en 910 MHz no dieron resultados positivos indicando que la fuente no radiaba como un cuerpo negro pero en Octubre de 1938 detectó radiación a 160 MHz (1,9 metros).

Grote Reber nació en Wheaton, Illinois, en los suburbios de la ciudad de Chicago, el 22 de Diciembre de 1911. Se graduó en 1933 del Armour Institute of Technology como ingeniero de radio. Trató de conseguir un trabajo en la Bell para continuar las investigaciones de Jansky pero los años de la gran depresión hacían que los trabajos fuesen escasos y no lo logró. Por ello decidió construir una antena en el patio de su casa en Wheaton. Reber después de una larga vida, murió en Tasmania en el 2002. Sus cenizas fueron distribuidas entre 24 grandes radio-observatorios del mundo.

Reber gastó 6 años obteniendo un mapa del cielo en 160 y en 480 MHz que claramente mostraban los contornos de la Vía Láctea. La señal más intensa venía del centro galáctico pero había otras "fuentes" de radio que no coincidían con estrellas o galaxias. Una de las fuentes intensas estaba en la constelación de Casiopea y la otra en Cygnus (llamadas **Cass A** y **Cygnus A**). Por casi una década Reber fue ¡el único radio-astrónomo del mundo!



Grote Reber, en 1960, junto a la antena de 10 metros que él construyó en 1937. Hoy es parte de un museo de radioastronomía por ser la primera antena para uso astronómico exclusivo.

2.17.3 Hey detecta el Sol:

El 12 de Febrero de 1942 el ejército alemán se las ingenió para confundir los radares costeros defensivos de Inglaterra permitiendo que dos cruceros, el “*Scharnhorst*” y el “*Gneisenau*” escaparan de Brest a Kiel. Como resultado el ejército inglés ordenó una urgente investigación de la saturación de los radares ingleses. Dos semanas más tarde, el 27 y el 28 de Febrero los radares captaron una interferencia en

una longitud de onda de 4,2 metros, utilizada en los radares ingleses. Esto se atribuyó inicialmente a otro caso de interferencia producida por los alemanes hasta que **James Stanley Hey** (1909-2000) se dio cuenta que era el Sol el que producía la señal detectada por los radares. Los radares permanecían apuntando hacia el este desde Inglaterra y temprano en la mañana el Sol naciente entraba en el haz del radar. La señal había sido máxima el 28 de Febrero, cuando también se detectó una ráfaga solar asociada con un gran grupo de manchas que se encontraba en el meridiano solar. Cuatro meses más tarde **George Southworth**, que trabajaba en los Laboratorios Bell, independientemente detectó el Sol. También lo hizo **Reber** al año siguiente.

En Octubre de 1945 **Joseph L. Pawsey** (1908-1962), **Ruby Payne-Scott** y **Lindsay McCready**, en Sydney, Australia, descubrieron que la intensidad promedio en una longitud de onda de 1,5 metros de la emisión solar correlacionaba muy bien con el área total de manchas solares. De esta manera se encontró una clara correlación entre emisión de radio y manchas. Pawsey y colaboradores dedujeron al año siguiente, a partir de radio observaciones del Sol quieto, que la corona tiene una temperatura del orden de un millón de grados Kelvin. Esto era similar a lo deducido en 1941 a partir de espectros de la corona.

Edward Bowen y Joe Pawsey en Sydney y **Martin Ryle** (1918-1984) en la Universidad de Cambridge desarrollaron interferómetros para realizar estudios más precisos del Sol. Esto le permitió a Ryle mostrar que las erupciones de radio provenían de zonas discretas de la fotosfera solar y no del disco completo.

2.17.4 Primeras radio fuentes siderales:

Los radio astrónomos ingleses James Hey, S.J. Parsons and J.W. Phillips utilizando una antena de un radar antiaéreo en 1946 descubrieron que la fuente Cygnus A fluctuaba en un intervalo de unos pocos segundos. Martin Ryle y **Francis Graham Smith** (1923-) en Cambridge decidieron utilizar su interferómetro solar para investigar las fluctuaciones de Cygnus A. En sus primeras noches detectaron radiación de Cygnus pero también recibieron radiación 3 horas más tarde de la constelación de Casiopea. Ello re-descubrieron Casiopea A que había sido encontrada unos años antes por Reber.

En paralelo con este trabajo **John G. Bolton** (1922-1993) y **G. J. Stanley** en el Laboratorio Australiano de Radio Física, de Sydney, utilizando un interferómetro, descubrieron que Cygnus A es muy pequeña, con menos de 8 minutos de arco de tamaño. Adicionalmente descubrieron otras tres radio fuentes: **Tauro A**, **Centauro A** y **Virgo A**. En los años siguientes Bolton, Stanley y O. B. Slee identificaron a Tauro A como la nebulosa del Cangrejo (el remanente de una supernova que explotó en el año 1054 y fue observada por astrónomos chinos), Cen A como la galaxia peculiar NGC 5128 y Vir A como la galaxia elíptica Messier 87. De las tres radio-fuentes dos resultaban ser galaxias y la tercera un remanente de supernova.



The Crab Nebula in Taurus (VLT KUEYEN + FORS2)

ESO PR Photo 40/99 (17 November 1999)

© European Southern Observatory



Nebulosa del Cangrejo en Tauro. Remanente de la supernova del 1054. Radiofuente Tauro A

Los cálculos mostraban que si la galaxia de Andrómeda, Messier 31, la espiral más cercana a la Vía Láctea, radiase como la Vía Láctea sería posible detectarla con el radio telescopio de 65 metros de Jodrell Bank en Inglaterra. **Robert Hanbury Brown** (1916-2002) y su estudiante **Cyril Hazard** decidieron intentarlo, operando el radio telescopio a una frecuencia de 158,5 MHz (equivalente a 1,89 metros). Ellos detectaron una débil señal proveniente de Andrómeda. La observaron durante 90 noches hacia fines del 1950. Hicieron un mapa con la radiación recibida. Aunque resultaba ser mucho más débil que en luz visible, ésta y subsecuentes investigaciones permitieron mostrar que las ondas de radio provienen de una región diez veces mayor que la imagen óptica de la galaxia.

Cuando Graham Smith logró una posición de Cygnus A con un error de 1 minuto de arco, eso le permitió a **Walter Baade** (1893-1960) y **Rudolph Minkowsky** (1895-1976) del Observatorio de Monte Palomar en Estados Unidos, descubrir la contrapartida óptica de Cygnus A que resultó ser una pequeña galaxia de magnitud 16, muy distante. Con ello resultaba que la segunda radio fuente más intensa del cielo era una galaxia que emite una inmensa cantidad de energía en ondas de radio: se había descubierto una **“radio-galaxia”**.

2.17.5 Radiación en 21 centímetros:

En 1944 **Jan Oort** (1900-1992) en Holanda le sugirió a **Hendrik van de Hulst** (1918-2000) que examinara teóricamente la posibilidad de que un gas pudiese emitir una línea espectral. Van de Hulst encontró, en 1945, que el Hidrógeno neutro, en su estado fundamental posee dos niveles diferentes de energía, según el protón y el electrón que lo componen tengan sus espines paralelos o anti-paralelos. El estado

mínimo de energía lo posee el átomo de Hidrógeno con los espines antiparalelos. La transición de un estado al otro genera energía en la longitud de onda de 21,2 centímetros (1.460 MegaHertz). La transición tiene una muy baja probabilidad (un átomo demora más de 10 millones de años en hacer la transición), pero los cálculos mostraron que sería posible detectarla. Tres grupos los hicieron en 1951: un grupo de la Universidad de Harvard con **Harol Ewen** y **Edward Purcell**, al cual se había sumado van de Hulst (en un año sabático), un grupo holandés con **Muller** y **Oort**, y un grupo australiano con **W.H. Christiansen** y **J.V. Hindman**. Con la detección del hidrógeno neutro en 21 centímetros, absolutamente invisible ópticamente, la radio astronomía se consolida como una herramienta indispensable para el astrónomo. Un porcentaje importante de la masa de las galaxias se encuentra en forma gaseosa (10% o más) y buena parte del gas está en forma neutra y es Hidrógeno. Por ende los estudios de las galaxias en Hidrógeno neutro, utilizando la radiación en 21 centímetro han abierto oportunidades únicas de mejorar nuestro conocimiento en el mundo de las galaxias y del medio interestelar en la Vía Láctea.

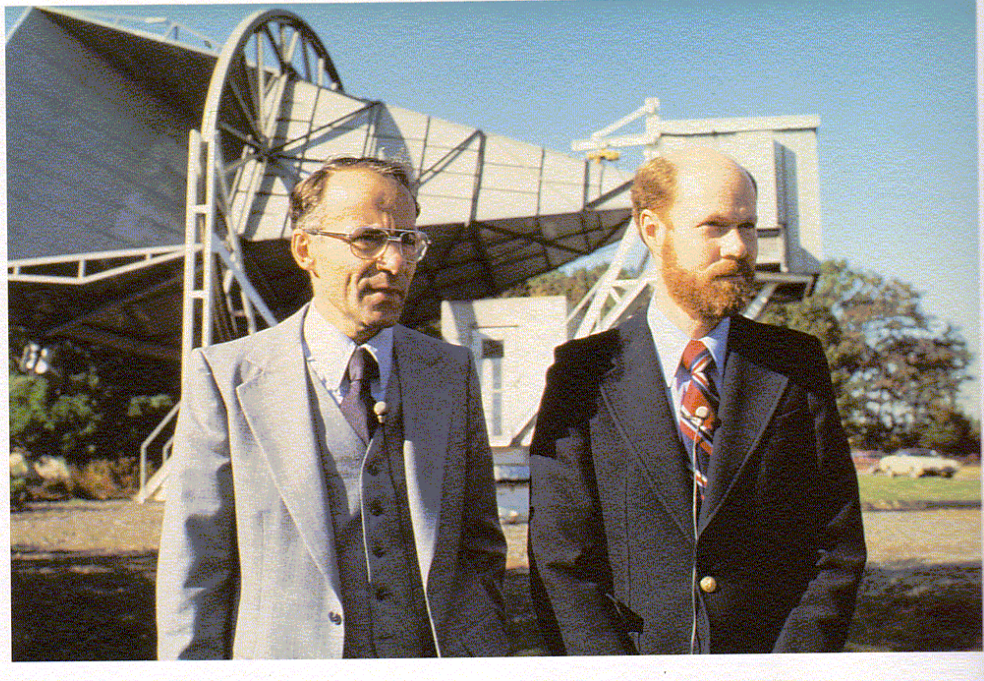
2.17.6 Epílogo:

A partir de la década de los años sesenta la radioastronomía se ha transformado en una parte inseparable de la astronomía y sería largísimo enumerar los cientos de descubrimientos que gracias a ella se han logrado. Sin embargo, la radio astronomía ha sido fundamental en tres grandes descubrimiento de la década del sesenta: los **cuasares**, la **radiación de fondo cósmico** y los **pulsares**.

En la Universidad de Cambridge, Inglaterra hicieron un catálogo de radio fuentes en los años 50. El tercer catálogo, publicado en 1962 contiene posiciones para unas cuatrocientas fuentes, muchas de las cuales resultaron ser radio-galaxias. Otras sin embargo, como 3C 273 y 3C 48, había demostrado ser “*radio-estrellas*”. Su apariencia óptica era la de una estrella cualquiera, pero emitían una gran cantidad de energía en ondas de radio. El astrónomo holandés-norteamericano **Maarten Schmidt**, en 1963, aclaró el misterio cuando explicó el extraño espectro óptico de 3C 273 como resultante de un fuerte corrimiento al rojo. El objeto era brillante, magnitud 12,5 pero se aleja de nosotros con una velocidad de 45.000 km/seg, unos de los más lejanos en ese momento. Fueron llamados “Quasi-Stellar Sources”, abreviadas QSS y pronto se les puso el sobrenombre de “*quasar*”, en castellano cuásares o cuasares. Algunos cuasares no emiten en ondas de radio (la mayoría de ellos) y fueron llamados “Quasi-Stellar Object”, abreviados QSO. En estricto rigor Quasar pretende ser **Quasi-Stellar Radio Source** pero se usa indistintamente para designar un objeto con emisión en radio como otro sin ella.

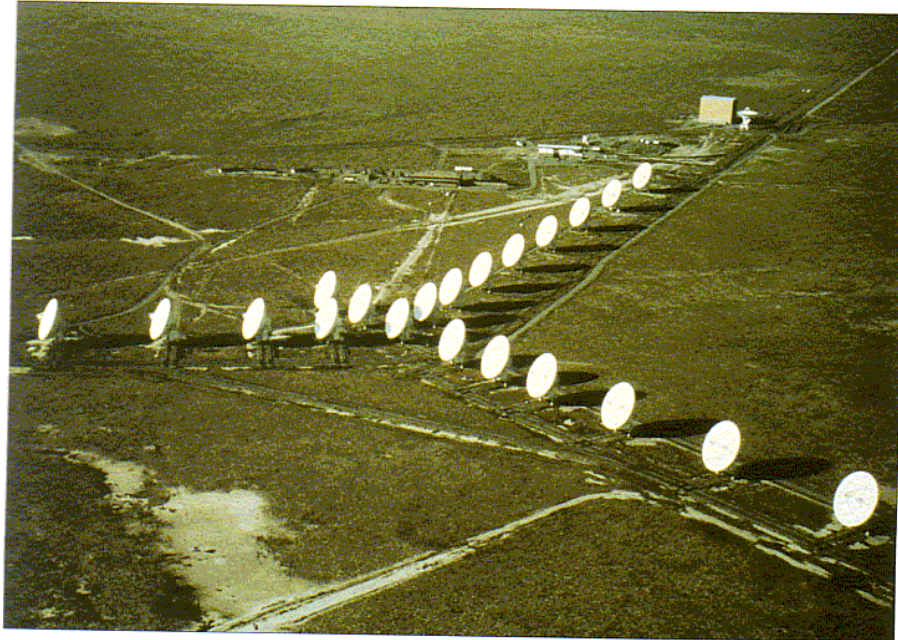
En 1964 los radioastrónomos **Arno Penzias** y **Robert Wilson**, trabajaban para la Bell Telephone, investigando, una vez más, las fuentes de interferencia en el espectro electromagnético de altas frecuencias. Con una antena de forma de cuerno detectaron radiación proveniente de todas partes del cielo que posteriormente fue interpretada como radiación remanente del Big-Bang. Dicha radiación corresponde en la actualidad a una temperatura de 2,7 K.

Bell Laboratories scientists Arno A. Penzias (left) and Robert W. Wilson (right) stand in front of the radio antenna they used to detect the radio emissions left over from the birth of the universe. In 1978 they were awarded the Nobel Prize in physics for their discovery.



En 1967 **Jocelyn Bell** trabajaba para su tesis de doctorado en astronomía en Cambridge Inglaterra, bajo la supervisión de **Anthony Hewish**. Jocelyn descubrió pulsos de radio con un período muy corto (unos pocos segundos). Fueron interpretados como provenientes de estrellas de neutrones en muy rápida rotación. Fueron bautizados como *pulsares*. El pulsar de la nebulosa del Cangrejo, estrella que explotó hace casi un milenio en la constelación de Tauro, tiene un período de 33 mili-segundos, uno de los períodos más cortos.

Muchos son los resultados que exhibe la astronomía contemporánea, cuyo origen es la radio-astronomía. Con el avance en electrónica y computadores, cada vez se han construido radio telescopios más potentes y en frecuencias cada vez más altas. La ventana atmosférica para la radio-astronomía va desde los varios metros en las ondas largas (menos de 20 metros) hasta una fracción de milímetro. El límite de las ondas cortas se debe al contenido de vapor de agua en la atmósfera. Por ese motivo cada vez se han ido poniendo grandes antenas para radioastronomía milimétrica en lugares a una significativa elevación (entre 2.000 y 4.000 metros de altura sobre el nivel del mar). El proyecto más ambicioso se colocará en el altiplano chileno del Llano de Chajnantor, a 5.100 metros de altura sobre el nivel del mar, unos 60 kilómetros al oriente de San Pedro de Atacama. Allí se construirá el proyecto ALMA (Atacama Large Milli-meter Array). Constará con 50 antenas de 12 metros de diámetro cada una, que operará a una frecuencia cercana a 1 GHz (0,3 milímetros). Las configuraciones del arreglo serán varias, desde muy compacto, diámetro global de pocos cientos de metros, hasta muy extendido, un anillo de 10 kilómetros de diámetro. Estará terminado hacia el 2012 y será el arreglo de radio telescopios milimétricos más poderoso del mundo. La construcción la hará un consorcio norteamericano-europeo-japonés.



The Very Large Array radio telescope near Socorro, New Mexico. It consists of 27 dish antennas, each 25 metres (82 feet) across. These are shared between three arms of a Y-shaped configuration, each arm being up to 21 kilometres (13 miles) long, and the dishes are used in conjunction by the method of aperture synthesis. The Y-shaped configuration gives a better overall performance across the sky than would be possible with an equivalent telescope restricted to an east-west axis.

Arreglo de antenas en Socorro, Nuevo México, conocido como VLT. El proyecto ALMA que se construye en Chile tendrá 50 antenas de 12 metros cada una.

REFERENCIAS:

- David Levington "A History of Astronomy, from 1890 to the Present", Springer, Londres, 1996.
- Gerrit L. Verschuur "The Invisible Universe", The English University Press, Springer, 1974
- Alex G. Smith "Radio Exploration of the Sun", van Nostrand Co. Inc., Princeton, N.J. 1967