



Proyecto Académico con el Radio Telescopio de NASA en Robledo

[Página principal](#)

[El proyecto y sus objetivos](#)

[Cómo participar](#)

[Cursos de radioastronomía](#)

[Material](#)

[Novedades](#)

CURSO DE INICIACIÓN A LA RADIOASTRONOMÍA

[Índice](#)

[Introducción](#)

[Capítulo 1](#)

[Capítulo 2](#)

[Capítulo 3](#)

[Capítulo 4](#)

[Capítulo 5](#)

[Capítulo 6](#)

© LAEFF-INTA, Madrid 2003

CAPÍTULO 4

Fuentes de radio III: Sistema Solar y Galaxias

1. Sistema solar

1.1 El Sol

1.2 La Luna y los planetas

Júpiter

2. Galaxias

2.1 La clasificación de las galaxias

2.2 Galaxias "normales"

2.3 Galaxias activas

2.2 Modelo de unificación



*Imagen en óptico de la galaxia Seyfert NGC 1566
© 1984-2002, Anglo-Australian Observatory, fotografía de
David Malin*

1. El Sistema Solar

1.1. El Sol

El Sol, nuestra estrella, se encuentra en la secuencia principal. Esto significa que su fuente de energía es el producto de multitud de reacciones nucleares de fusión donde cuatro núcleos de hidrógeno se convierten en uno de helio. El Sol lleva alrededor de 5000 millones de años en la secuencia principal, quemando unos 500 millones de toneladas de hidrógeno cada segundo y continuará en ese estado otros 5000 millones de años, hasta que comience su evolución hacia el estado de gigante roja.



Fig.4.1. Imagen del Sol obtenida en luz visible. Pueden apreciarse en la superficie algunas manchas solares, más oscuras que el gas circundante. Cortesía de la Royal Swedish Academy of Sciences.

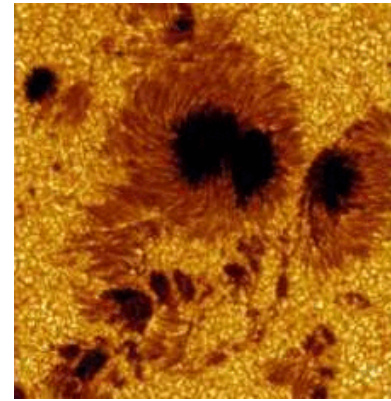


Fig.4.2. Una región activa mostrando varias manchas solares. La parte central de una mancha (umbra) es oscura porque está más fría que el gas que la circunda. La parte más externa de la mancha, compuesta por filamentos brillantes y oscuros, es la penumbra. El campo magnético en el centro de las manchas solares es muy intenso (puede llegar hasta unos 4000 G) y es el origen de las fulguraciones y fenómenos violentos que se observan en la atmósfera solar. Cortesía de la Royal Swedish Academy of Sciences.

La temperatura superficial del Sol es aproximadamente 6 000 K. Este valor, junto a su masa (2×10^{30} kg), radio (700 000 km) y luminosidad (3.85×10^{26} vatios) -utilizados todos ellos como referencia para medir los mismos parámetros para el resto de las estrellas- lo sitúan en la zona inferior derecha de la **secuencia principal**. En comparación con otras estrellas, el Sol es un objeto más bien "frío" y poco masivo.

La estructura de la atmósfera del Sol es peculiar, en el sentido de que la temperatura crece con la altura, de forma contraria a lo que nuestra intuición nos dicta si nos alejamos de un foco de calor. En la corona solar se pueden alcanzar temperaturas de hasta 3.000.000 de grados. Por eso la apariencia del Sol en distintas longitudes de onda es muy diferente. En las siguientes imágenes se puede observar el Sol tal y como brilla en las capas de la atmósfera más calientes que la superficie.

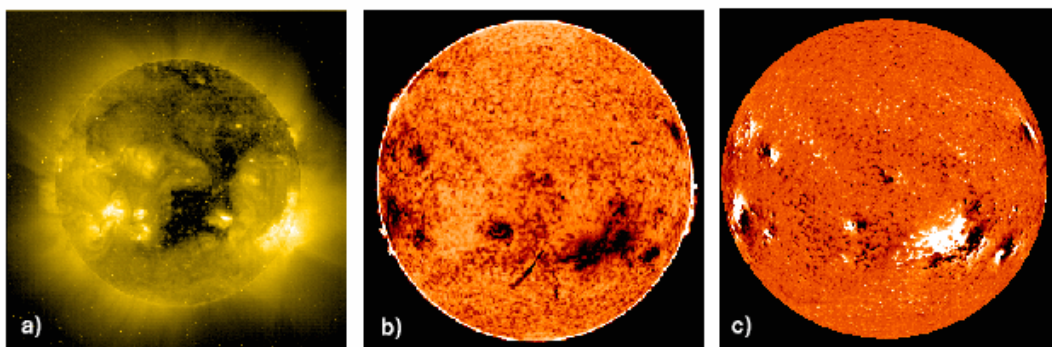


Fig.4.3. a) Imagen de la corona solar. Cortesía de ESA (European Space Agency), proyecto SOHO. b) Imagen del sol en la línea de HeII ($10\ 830 \text{ \AA}$). Cortesía del National Solar Observatory, Estados Unidos. c) Mapa del campo magnético solar. Cortesía del National Solar Observatory, Estados Unidos.

En la figura 4.3.a) podemos ver la imagen del Sol que muestra la estructura de la corona a 2 000 000 de grados. Esta imagen ha sido obtenida con el instrumento EIT a bordo del satélite SOHO.

En la figura 4.3.b) se muestra una imagen del Sol obtenida en el National Solar Observatory, Kitt Peak, utilizando un filtro centrado alrededor de $10\ 830 \text{ \AA}$ correspondiente a una línea de He II en absorción. En esta imagen se observa la cromosfera solar, una región que puede alcanzar temperaturas de hasta 20 000 K y ha sido obtenida desde el .

La figura 4.3.c) muestra un mapa del campo magnético solar obtenido en la misma fecha que las otras dos imágenes. Las zonas blancas corresponden a líneas de campo magnético que salen de la superficie y las negras a líneas que se hunden en la superficie. Como puede apreciarse, existe una correspondencia espacial entre las zonas con campo

magnético intenso y las regiones más activas en la corona.

Las estrellas de la secuencia principal no tienen una emisión potente en radio, por lo que no se suelen observar con radiotelescopios. Si aproximamos la distribución energética del Sol -o de una estrella similar- a la de un **cuerpo negro**, el pico donde se emite más energía está situado en torno a los $5\,000\text{ \AA}$, es decir, en el rango óptico, y la "cola" de la distribución de energía en longitudes de onda de radio es muy débil comparada con la intensidad que se observa en el visible.

Sin embargo, en el Sol y en otras estrellas parecidas existen fenómenos que producen potentes emisiones en radio y, en el caso de nuestra estrella, debido a su cercanía, sí que es posible detectarlas desde Tierra con cierta facilidad. Incluso es posible observar la emisión térmica de cuerpo negro.

La primera detección de ondas de radio procedentes del Sol no se hizo hasta unos años después del descubrimiento de la emisión en radio de nuestra propia Galaxia por Karl Jansky, en 1931. El propio Jansky y Grote Reber intentaron detectar la radioemisión del Sol en longitudes de onda métricas pero no tuvieron éxito debido a que su búsqueda se realizó durante un mínimo de actividad solar. Hoy se tiene una certeza total de que la radioemisión solar está muy relacionada con los niveles de actividad y la presencia, o no, de manchas solares en la superficie.

El Sol presenta ciclos de actividad con una duración media de 11 años entre máximos (o mínimos), donde la característica más evidente es el aumento y disminución del número de manchas solares y de fenómenos relacionados, como las fulguraciones o las erupciones de materia. En la figura 4.4 se puede ver una superposición de imágenes del Sol obtenidas con el satélite japonés Yohkoh donde se muestra el brillo de la corona solar -¡millones de grados!- desde el máximo de actividad (izquierda) al mínimo.

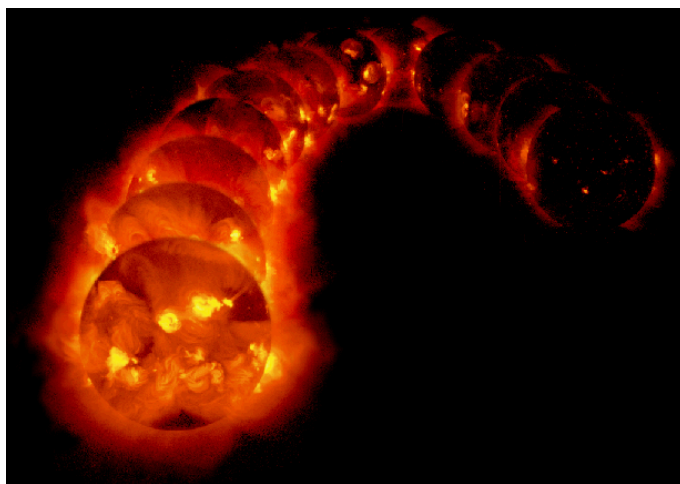


Fig.4.4. Variación de la emisión solar a lo largo de su ciclo. Cortesía del Institute for Space and Astronautical Sciences, proyecto Yohkoh, Japón.

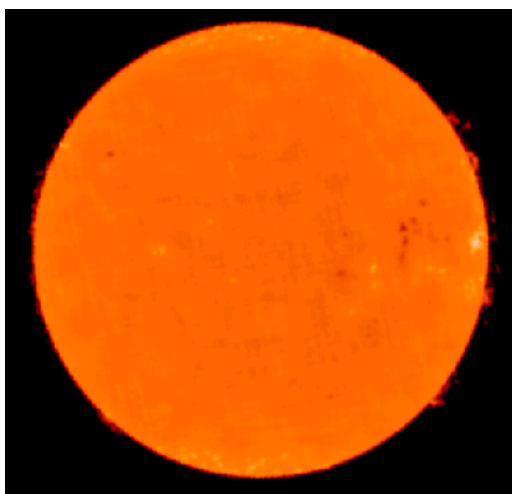


Fig.4.5. El Sol en 17 GHz cerca de su mínimo de actividad. Cortesía del Nobeyama Radio Observatory, Japón.

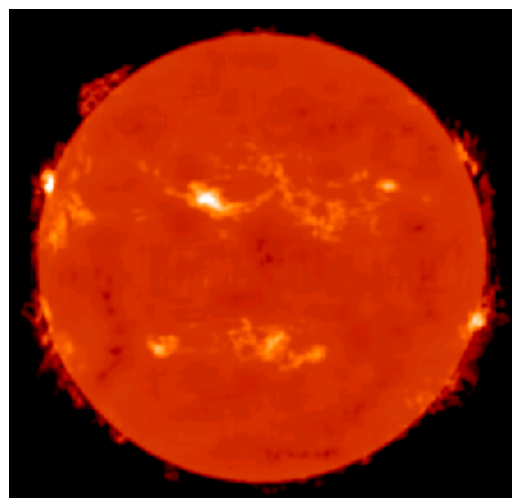


Fig.4.6. El Sol en 17 GHz cerca de su máximo de actividad. Cortesía del Nobeyama Radio Observatory, Japón.

En las figuras 4.5 y 4.6, podemos ver imágenes del Sol en 17 GHz (longitud de onda 2 cm) obtenidas con el

radioheliógrafo de Nobeyama en junio de 1996 (cerca del mínimo de actividad solar) y en julio de 2000 (cerca del máximo). Es evidente la presencia de mayor emisión radio, proveniente de estructuras activas, en la imagen obtenida en las proximidades del máximo solar.

La emisión en radio del Sol está constituida por tres componentes principales:

1) La emisión del Sol *sin perturbar*: es la emisión global del Sol, excluyendo fuentes discretas, localizadas y tiene la forma de radiación térmica (el cuerpo negro al que nos referíamos arriba) emitida por partículas moviéndose al azar en un gas caliente. Además de la emisión de radioondas de la superficie, hay que tener en cuenta la de las capas de la atmósfera (cromosfera y corona), que se encuentran a temperaturas aún mayores que la de la fotosfera.

2) La componente de *variación lenta* (denominada *S*, del inglés "slow") es también radiación térmica, pero es emitida desde regiones localizadas de la atmósfera solar. La cantidad total de radiación emitida por todo el Sol rara vez es mayor que el nivel del "Sol sin perturbar", pero es localmente intensa y depende del nivel de actividad solar (es decir, de la presencia o no de manchas solares en la superficie). Esta componente es importante en el rango de longitudes de onda decimétricas entre unos 10 y 50 cm (frecuencias de unos 3 GHz a 600 MHz).

3) *Destellos* o *fulguraciones*, que pueden tener lugar sobre todo el espectro de radio con escalas de tiempos desde menos de 1 segundo hasta varias horas. La potencia emitida puede superar a la del Sol sin perturbar en factores entre 1 000 y 10 000 y la radiación es básicamente de naturaleza no térmica: es emitida por electrones que, en lugar de moverse al azar como en un gas caliente, poseen movimientos dirigidos bajo la influencia de un campo magnético (**radiación sincrotrón**). En estos casos la radiación está polarizada.

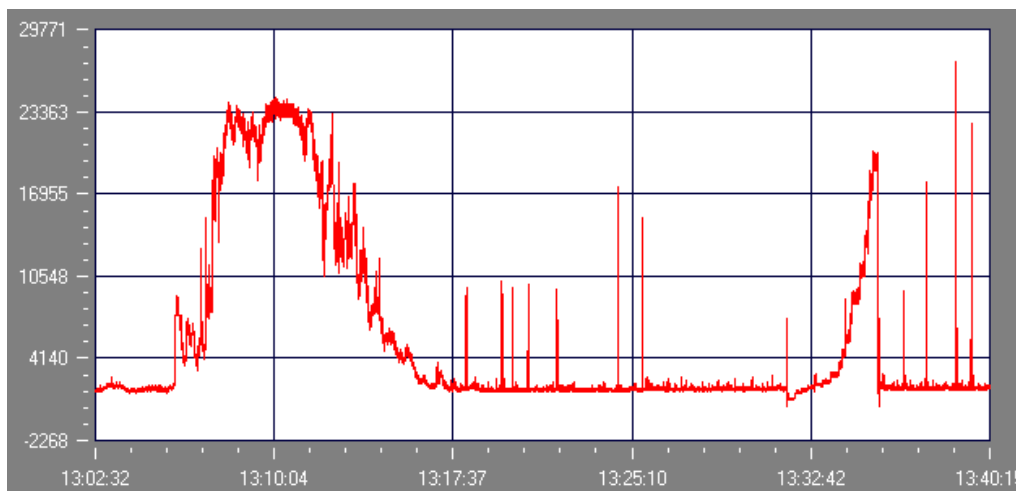


Fig.4.7. Evolución de la energía emitida por una fulguración solar ocurrida el 10 de junio de 2000, observada a una frecuencia de 20.1 MHz. Cortesía del University of Florida Radio Observatory, Estados Unidos.

El radioheliógrafo del Observatorio de Nobeyama permite observar simultáneamente eventos solares en dos frecuencias. La figura 4.8 muestra la fulguración ocurrida el 10 de noviembre de 1995. Los mapas corresponden a 17 GHz (polarización izquierda, L "left" y derecha, R "right"), 34 GHz (intensidad total) y una imagen en rayos X obtenida con Yohkoh. La radiofuente en la parte alta puede verse en 17 GHz, 34 GHz y rayos X, mientras que la fuente en la parte baja sólo es visible en polarización circular izquierda en la imagen de 17 GHz. Esto significa que la radiación de esa parte de la fulguración proviene de una zona donde el campo magnético es particularmente intenso.

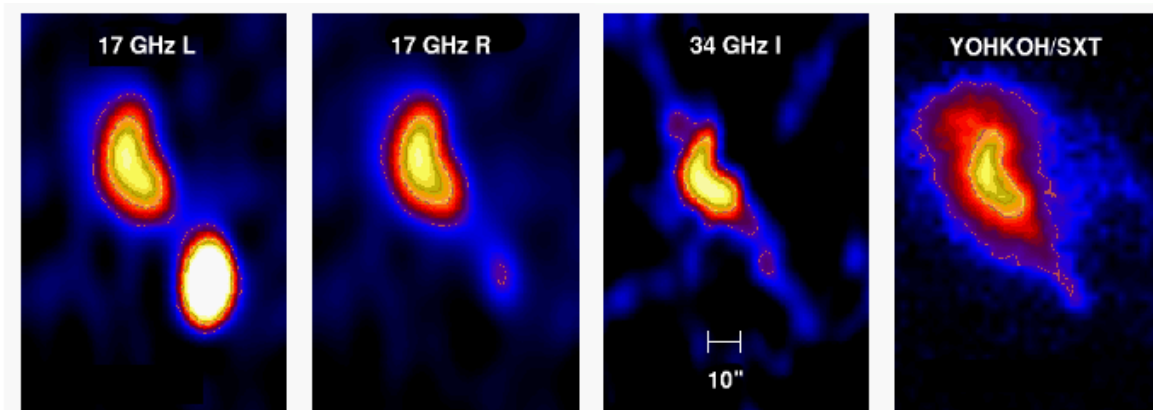


Fig.4.8. Fulguración solar en 17 GHz, 24 GHz y rayos X. Cortesía del Nobeyama Radio Observatory, Japón.

2.2. La luna y los planetas

La Luna y los planetas emiten como **cuerpos negros**. Esto supone que su emisión depende únicamente de su temperatura. Venus, por ejemplo, tiene una emisión en radio como si se tratase de un cuerpo negro de unos 700 K, y la Luna emite como un cuerpo negro de algo más de 200 K.

Júpiter

Júpiter tiene un comportamiento algo distinto, ya que dependiendo de la longitud de onda, se manifiesta de tres formas diferentes.

- Emisión decamétrica.

En longitudes de onda mayores de 8 m, Júpiter presenta una potente emisión debida a la interacción de su campo magnético con el satélite Io. El mecanismo de emisión es radiación *ciclotrón*: partículas ionizadas de baja velocidad moviéndose en el seno del intenso campo magnético del planeta. Esta emisión es muy variable y en ciertos momentos se observan grandes "explosiones" en las que la emisión decamétrica aumenta significativamente.

- Radiación sincrotrón

Entre 8 m y 1 cm de longitud de onda, hay una importante contribución de la emisión producida por los electrones que se mueven a velocidades cercanas a la de la luz, siguiendo las líneas del campo magnético de Júpiter (ver **capítulo 3** del curso de Fundamentos Físicos). Esta emisión de radiación sincrotrón es la dominante en la banda S (12 cm) de PARTNeR. En la banda X (3.6 cm), es difícil de separarla de la emisión térmica, pues ambos tipos de radiación tienen intensidades comparables.

- Radiación térmica

A longitudes de onda menores de 5 cm, Júpiter emite como un cuerpo negro de unos 140 K. En torno a los 2 cm ésta es ya la emisión dominante. La emisión térmica es mucho más estable que los otros dos mecanismos de radiación mencionados. Por lo tanto, en longitudes de onda cortas se puede utilizar para calibrar el flujo recibido por la antena.

En la figura 4.9 pueden verse imágenes tomadas con el VLA (Very Large Array) en varias longitudes de onda. En las longitudes de onda más cortas (2 cm) se aprecia que la emisión procede únicamente del planeta en sí (sería su emisión de cuerpo negro). Sin embargo, para longitudes de onda más largas (6 cm) se puede ver que la emisión sincrotrón procede del *cinturón magnético de Júpiter* (marcado con flechas en la figura). En 3.6 cm hay contribución significativa de ambos mecanismos de radiación.

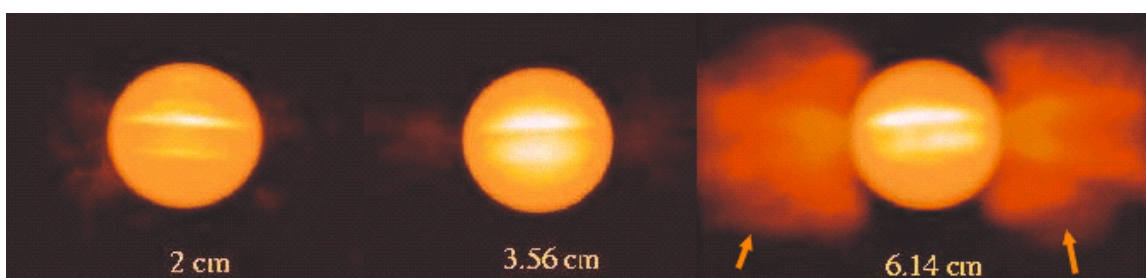


Fig.4.9. Imágenes en 2, 3.6 y 6 cm de Júpiter tomadas con el VLA. En la última se observa claramente la radiación sincrotrón. Ref: de Pater, I., D. Dunn, K. Zahnle and P.N. Romani, 2001. *Comparison of Galileo Probe Data with Ground-based Radio Measurements*. *Icarus*, vol. 149, 66-78.

Las siguientes páginas contienen información interesante sobre Júpiter: <http://www.atnf.csiro.au/people/rsault/jupiter> (¡incluye películas!) y <http://www.skatelescope.org/science/node26.html> (en inglés).

2. Galaxias

2.1. La clasificación de las galaxias

Durante la segunda mitad del siglo XIX y hasta bien entrado el siglo XX, los astrónomos se hallaban enzarzados en un intenso debate sobre la naturaleza de unas nebulosas de forma espiral que se podían observar con los telescopios de la época. Había quienes defendían que las nebulosas eran nubes de gas de nuestra Galaxia, a modo de sistemas solares en formación. Por otro lado, estaban los que defendían que se trataban de sistemas muy separados de la Vía Láctea, a

modo de los "universos-isla" propuestos por el filósofo Immanuel Kant en 1755.

El debate no se resolvió hasta bien entrado el siglo XX, en el año 1923. Por aquel entonces, el astrónomo americano Edwin Hubble realizó fotografías de una de estas nebulosas, la de Andrómeda, utilizando el telescopio de Mount Wilson, un reflector de 2.5 metros de diámetro. En las fotografías obtenidas pudo distinguir estrellas que además permitieron determinar una distancia a la nebulosa claramente mayor que los límites de la Vía Láctea.

Hoy día sabemos que las galaxias son sistemas ligados gravitatoriamente, de hasta cientos de miles de millones de estrellas, de gas y polvo, que muestra una gran variedad de formas y tamaños. El mismo Hubble realizó una clasificación basada en la morfología de las galaxias, distinguiendo cuatro tipos básicos: galaxias elípticas, lenticulares, espirales (normales y barradas) e irregulares. En la figura 4.10 se puede ver un esquema de la clasificación de Hubble.

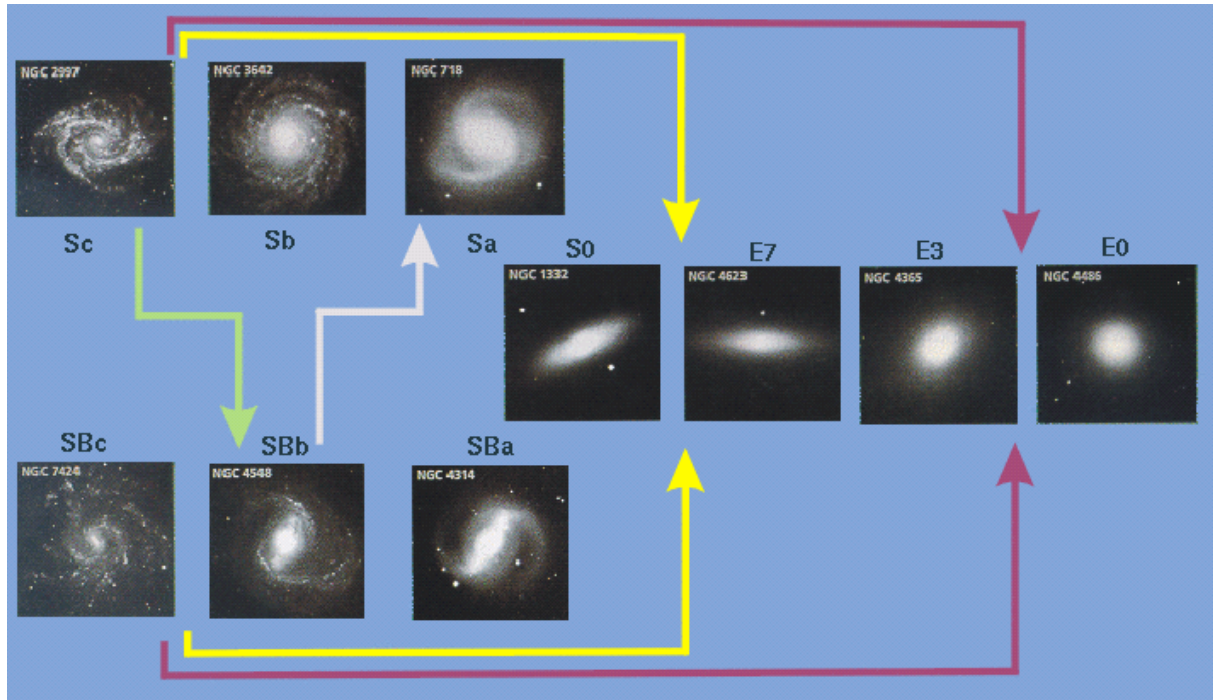


Fig.4.10. Clasificación de Hubble en la que se muestran los posibles caminos evolutivos de las galaxias. La formación de barras (flecha verde), disolución de barras (gris claro), el canibalismo galáctico (amarillo) y la fusión de galaxias (morado), conspiran para acercar la población galáctica hacia tipos de Hubble más "tempranos". Las imágenes de las galaxias son cortesía de Carnegie Institution of Washington. Esta imagen es una adaptación de Sky & Telescope

Las **galaxias elípticas** son aquellas que no tienen ningún plano dominante de simetría. La nomenclatura de su clasificación es una "E" a la que sigue un número que indica la elongación que presentan, correspondiendo "0" las más esféricas y "7" a las más alargadas. La mayoría de las galaxias elípticas son galaxias enanas, que se denotan con las letras "dE" en la clasificación de Hubble. Pero existen galaxias elípticas gigantes y supergigantes, con diámetros de hasta 5 millones de años luz.

Las **galaxias espirales** consisten en un bulbo central, similar a una galaxia elíptica, y un disco estelar que define un plano de simetría. En este plano existe también un fino disco de polvo y gas con una estructura de brazos espirales en donde se forman nuevas estrellas. Las galaxias espirales pueden ser de dos tipos: **espirales normales** (S) cuando los brazos salen directamente del núcleo, o **espirales barradas** (SB) que presentan una barra central de la que surgen los brazos. Tanto las galaxias espirales normales como las barradas se subdividen en los tipos Sa, Sb y Sc (o bien SBa, SBb y SBc). Una espiral de tipo "c" tiene un bulbo central más pequeño, brazos más estrechos y una estructura espiral más abierta que una galaxia de tipo "a".

Con una morfología híbrida entre las galaxias elípticas y las espirales se encuentran las **galaxias lenticulares** (S0). Muestran una estructura de tipo disco como las espirales, pero sin ningún signo de brazos. El aspecto de una galaxia S0 vista de perfil sería el de una lente convexa con un núcleo.



2.2. Galaxias "normales"

La mayoría de las galaxias, que podemos llamar "normales", presentan una emisión en radio bastante débil. Esta

emisión no proviene de las estrellas que forman la galaxia, sino del medio interestelar, salvo que se produzca algún fenómeno del tipo explosión de supernova, o que se detecte radiación procedente del núcleo de la galaxia.

Como vimos en el **capítulo 2**, mediante el uso de radiotelescopios podremos estudiar los tres estados de ionización del hidrógeno, de la misma manera que lo hacemos en nuestra Galaxia. Podremos obtener mapas de la distribución de gas molecular (estudiando líneas de CO), del gas atómico (con la línea de 21cm del hidrógeno atómico neutro) o del gas ionizado (mediante continuo de radio o líneas de recombinación). Con estas observaciones podemos estudiar, por ejemplo, la dinámica de las galaxias (curva de rotación), la relación entre el gas y las poblaciones estelares, o las regiones de formación estelar masiva. En los casos en que existe interacción entre dos o más galaxias, las observaciones de radio que trazan la distribución del hidrógeno neutro pueden mostrar las colas de marea que se producen por la interacción gravitatoria, algo que apenas deja rastro a longitudes de onda del rango óptico (ver la figura 4.11 en la que se muestra el grupo de M81 en óptico y radio; en la figura 4.12 se muestra la emisión radio de M82, asociada fundamentalmente a explosiones tipo supernova).

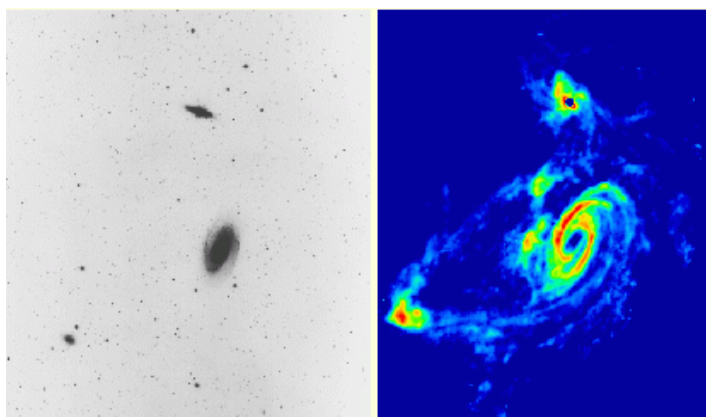


Fig.4.11. Imagen del grupo M81 en óptico (izquierda) y en radio (derecha). Cortesía de NRAO

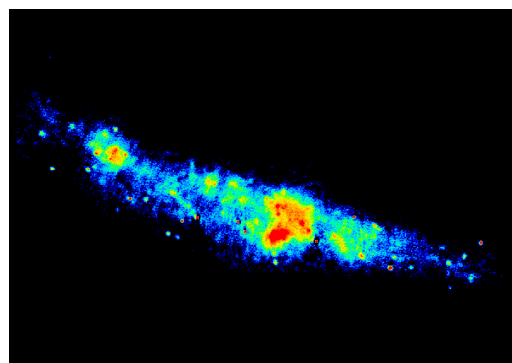


Fig.4.12. Imagen de M82 en radio, asociada fundamentalmente a explosiones de supernovas. Cortesía de Muxlow et al, Jodrell Bank

El núcleo de las galaxias también emite en radio, aunque en el caso de las galaxias normales, esa emisión es muy débil. Sólo se puede detectar con facilidad en las galaxias más próximas. El centro de la Vía Láctea, una galaxia "normal" de tipo espiral (probablemente barrada), emite en ondas de radio, pudiéndose detectar fácilmente debido a su cercanía. Un radiotelescopio único ve esta fuente como si se tratase de un punto no resuelto. Sin embargo, con un interferómetro se puede detectar una imagen como la que se ve en la figura 4.13, en la que se muestran los 10 parsec centrales de nuestra Galaxia.

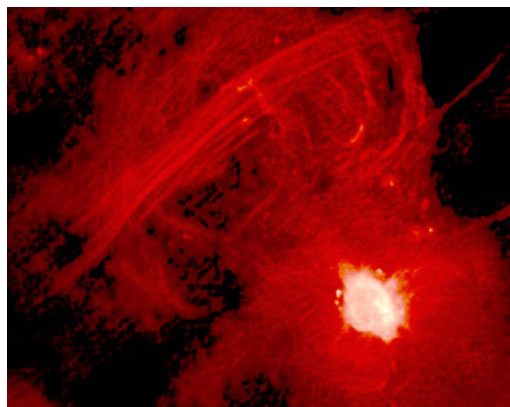


Fig.4.13. Imagen tomada con el VLA del centro de nuestra galaxia. Cortesía de Farhad Yusef-Zadeh et al. (Northwestern), VLA, NRAO



2.3. Galaxias activas

En contraposición con las galaxias normales, existen otras llamadas **activas** que liberan grandes cantidades de energía mediante procesos que parecen no estar relacionados con los procesos estelares ordinarios ni con el medio interestelar. La mayor parte de la energía emitida en las galaxias activas proviene de una pequeña y brillante región del núcleo de la galaxia y en muchos casos se observan líneas espectrales de emisión anchas, estrechas, o ambas, que reflejan la existencia de nubes moviéndose a gran velocidad y excitadas por una fuente de energía muy intensa.

El modelo más satisfactorio hasta la fecha para explicar muchas de las propiedades de la actividad en galaxias, consiste en la existencia de un objeto muy masivo en el núcleo de la galaxia, probablemente un agujero negro con una masa equivalente a la de varios millones de soles, rodeado por un remolino de gas y polvo que va cayendo hacia el centro y nubes de gas moviéndose a gran velocidad. De esta forma, es el campo gravitatorio el que proporciona la cantidad de energía necesaria para explicar las observaciones, que en principio no encajaban dentro de otros esquemas de liberación de energía más tradicionales, propios de la física estelar (reacciones termonucleares en estrellas). Así

pues, el principal elemento necesario para la generación de una galaxia activa es la existencia de un potencial gravitatorio extraordinariamente intenso. En este sentido, el comportamiento de los núcleos de las galaxias activas es similar al de las **binarias de rayos X**, aunque en una escala mucho mayor. Existe una gran variedad de objetos asociados a actividad nuclear intensa en galaxias. Algunos emiten fuertemente en ondas de radio, pero la mayoría no. Estos son los principales tipos:

Galaxias Seyfert

Son galaxias espirales, con núcleos puntuales muy brillantes. Presentan espectros en el óptico caracterizados por la presencia de líneas de emisión anchas y estrechas (Seyfert de tipo 1) o solamente estrechas (Seyfert de tipo 2). Las galaxias Seyfert emiten también en radio, pero en general lo hacen muy débilmente.

Radiogalaxias

Como hemos visto, la práctica totalidad de las galaxias del Universo emiten a longitudes de onda de radio, aunque en la mayoría de los casos la emisión es extremadamente débil. Reciben el nombre de radiogalaxias aquellas galaxias que tienen una emisión radio especialmente fuerte, entre 10 000 y 100 000 veces mayor que la de las galaxias normales. Las radiogalaxias suelen estar asociadas a galaxias con forma elíptica, de tipo E, con un núcleo activo.

A diferencia de la emisión óptica, normalmente confinada en la región de la galaxia en donde hay estrellas, la emisión en ondas de radio puede extenderse hasta regiones muy alejadas del campo estelar. De hecho, las radiogalaxias son probablemente los objetos individuales más grandes que se conocen en el Universo, pudiendo alcanzar tamaños de hasta varios millones de parsecs. Para hacernos una idea, si el diámetro de una galaxia espiral típica como nuestra Vía Láctea es de unos 30 kiloparsecs, una radiogalaxia puede llegar a tener tamaños hasta 100 veces mayores, alcanzando incluso el medio intergaláctico. Las radiogalaxias se conocen prácticamente desde los orígenes de la Radioastronomía como técnica observacional, allá por los años 1940. Los dispositivos de observación de la época, dotados de una pobre resolución angular, detectaron fuentes compactas de emisión, distribuidas fuera del plano definido por la Vía Láctea, aunque hicieron falta algunos años más para identificar su naturaleza extragaláctica.

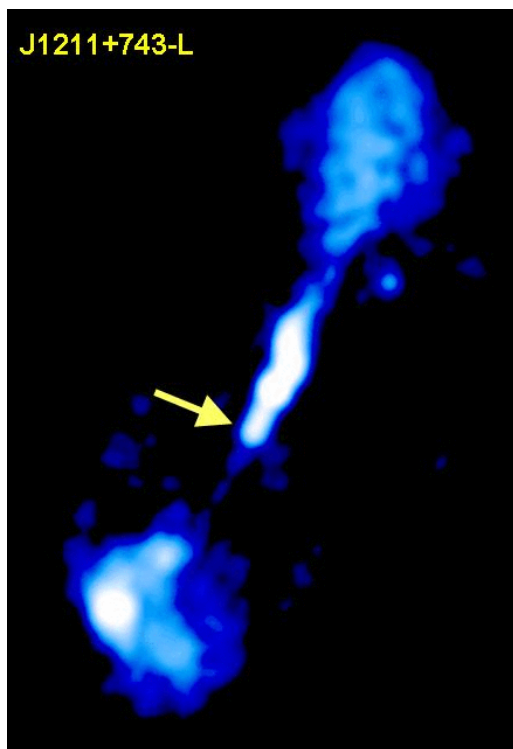


Fig.4.14. Imagen de la radiogalaxia J1211+743-L tomada con el VLA. La flecha señala en núcleo de la galaxia. Cortesía de Lucas Lara

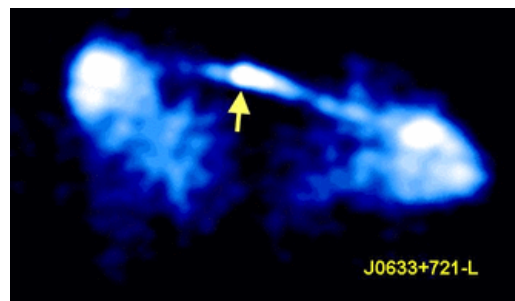


Fig.4.15. Imagen de la radiogalaxia J0633+721-L tomada con el VLA. La flecha señala el núcleo de la galaxia. Cortesía de Lucas Lara

Conforme la Radioastronomía fue depurando su técnica y, sobre todo, con el desarrollo de la interferometría y el espectacular aumento en la resolución angular ligado a ella, fue posible estudiar la estructura de las radiogalaxias. Aunque existe una gran variedad de formas y tamaños, se puede hablar de una estructura básica consistente en un núcleo brillante del que emanan de manera más o menos simétrica dos chorros de partículas altamente energéticas (relativistas). Estos chorros se abren paso a través del medio externo, ya sea interestelar o intergaláctico, hasta que llegan a un punto en que encuentran una gran resistencia en su avance. En este punto se produce un fuerte choque que se manifiesta como una zona de emisión muy brillante: son los llamados *puntos calientes* (en inglés *hot spot*). A partir de ahí, el chorro se rompe y el material transportado se desparrama por el medio externo, dando lugar a unos extensos lóbulos. En las figuras 4.14 y 4.15 mostramos imágenes de dos radiogalaxias realizadas con el VLA (con una flecha amarilla, se indica el núcleo). La Radioastronomía nos permite observar la radiación de tipo **sincrotrón** que se produce por la presencia de partículas con carga eléctrica, fundamentalmente electrones, moviéndose a altas velocidades en el seno de campos magnéticos existentes en los chorros y en los lóbulos de una radiogalaxia.

Cuásares

Tienen el mismo aspecto que una estrella, de ahí su nombre, que proviene de la contracción de las palabras cuasi-

estelar. Consisten en un núcleo no resuelto y muy luminoso, con fuertes líneas de emisión anchas y estrechas en su espectro. En los cuásares más cercanos se observa una nebulosidad difusa, revelando que este tipo de objetos no son más que los núcleos de galaxias activas lejanas, de las que únicamente detectamos la potente emisión nuclear y a duras penas alcanzamos a ver el resto de la galaxia. Posiblemente, una galaxia Seyfert situada a gran distancia tenga el aspecto de un cuásar. El empleo de grandes telescopios con óptica activa está permitiendo avanzar en el estudio de las lejanas galaxias que albergan a los cuásares. Aproximadamente un 10% de los cuásares emiten de manera muy intensa en radio (radio-cuásares), con una estructura similar a la de las radiogalaxias más intensas, aunque suelen mostrar únicamente un chorro. Algunos de ellos muestran también una fuerte variabilidad en su emisión. En la Figura 4.16 se muestra la imagen del cuásar 3C273 en el óptico y en radio.

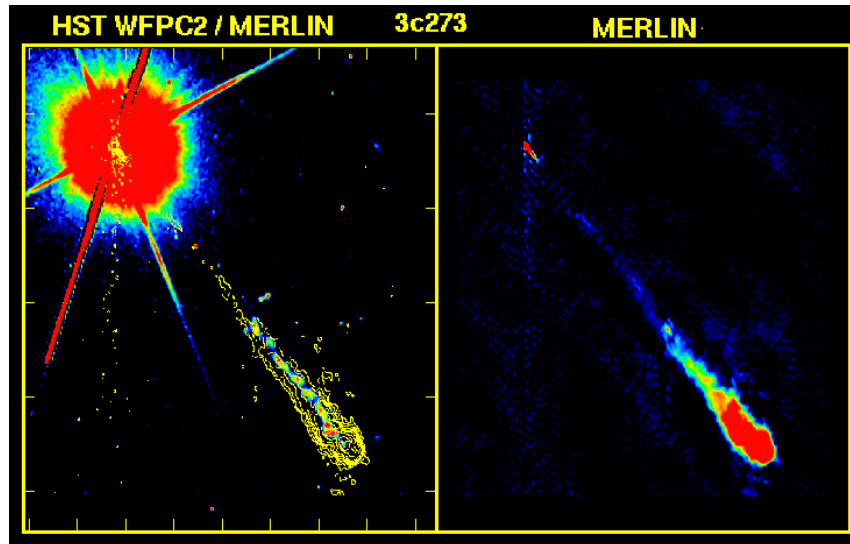


Fig.4.16. Imagen del cuásar 3c273 tomada con el HST y Merlin (izquierda), e imagen del chorro emitido tomada con Merlin (derecha). Cortesía de Jodrell Bank

Objetos BL-Lac

Son muy parecidos a los radio-cuásares, pero sus espectros ópticos no presentan líneas anchas de emisión. Muestran una polarización importante y una fuerte variabilidad. Los cuásares y los BL-Lacs muy variables reciben también el nombre genérico de blázares.



2.4. Modelos de unificación

Desde que se conocen los distintos tipos de galaxias activas, se han intentado imaginar modelos para entender la diversidad dentro de un mismo escenario físico. El modelo que más éxito ha tenido, aunque no carente de dificultades, afirma que la diversidad de núcleos activos se debe a la existencia de dos causas de anisotropía que afectan a cómo el observador percibe un núcleo activo.

- La primera se debe a la existencia de un toroide de gas y polvo que rodea al agujero negro central. Dependiendo de la posición del observador con respecto al toroide, éste podrá ver o no la parte interna en donde se produce la mayor parte de la energía.

- La segunda está asociada al efecto relativista de amplificación de la emisión sincrotrón, que depende del ángulo entre la dirección del flujo de partículas relativistas y el punto de vista del observador. La amplificación, o reforzamiento Doppler, es mayor cuanto más pequeño es este ángulo.

La figura 4.17 muestra un esquema del modelo de unificación. Teniendo en cuenta estas fuentes de anisotropía, si observamos un núcleo activo con el toroide visto de frente y los chorros acercándose al observador, veremos la parte más interna, con las nubes de alta velocidad responsables de las líneas anchas de emisión. Uno de los chorros estará prácticamente enfocado hacia nosotros, por lo que experimenta un reforzamiento muy importante, mientras que el otro, en dirección opuesta, resulta muy debilitado y en la mayoría de los casos no observable. Es decir, observamos las propiedades típicas de los

cuásares (un único chorro muy intenso, líneas espectrales anchas) o de las galaxias Seyfert 1 cuando no existen chorros. En cambio, cuando observamos con el toroide visto de perfil, la opacidad del medio no nos deja ver la parte interna, no vemos las nubes de alta velocidad y los chorros formarán un ángulo grande con respecto al observador. Sólo detectaremos líneas de emisión estrechas producidas por nubes más alejadas del núcleo, y observaremos dos chorros dispuestos de manera más o menos simétrica. Éstas son las propiedades típicas de las radiogalaxias, o de las galaxias Seyfert 2 (cuando no existen chorros).

A pesar de los éxitos del modelo de unificación brevemente descrito, queda aún un punto crucial sin aclarar: ¿Por qué unos núcleos activos emiten en radio y otros no? La razón no se conoce con certeza, aunque los últimos estudios parecen indicar que la existencia de emisión o no en radio está relacionada con la masa del agujero negro central. Es necesario un agujero negro muy masivo (cientos de millones de masas solares) para que se produzcan los chorros relativistas causantes de la emisión sincrotrón.

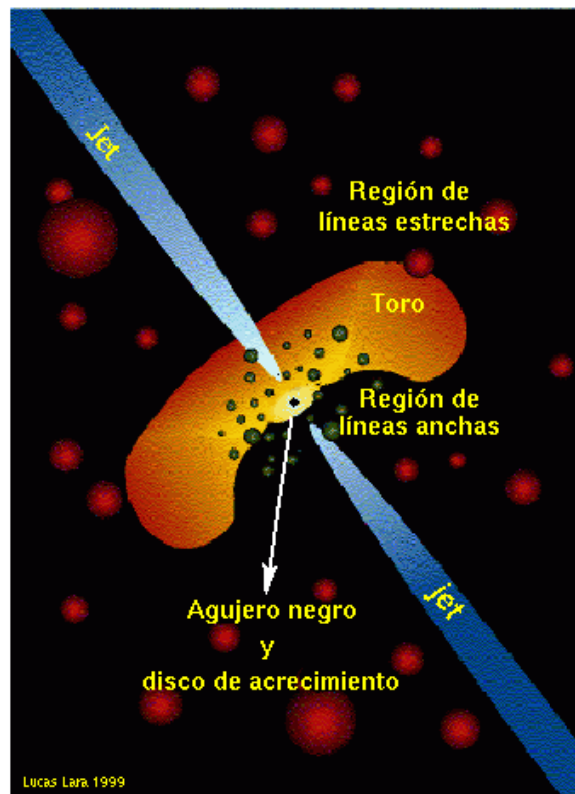


Fig.4.17. Modelo unificado de galaxias. Dependiendo del punto de vista de observación, veremos los distintos tipos de galaxias. Cortesía de Lucas Lara

