

RADIOASTRONOMÍA

Programa-guía

1



Parte I

ORÍGENES DE LA RADIOASTRONOMÍA

2

De Jansky a Reber



Actividades de presentación o introducción

A1 Actividad multimedia

Búsqueda de información en Internet usando como criterio de búsqueda los términos radioastronomía, historia, jansky y reber.

Usando las palabras radioastronomía, historia, jansky y reber, o combinaciones entre ellas, los alumnos deben buscar en Internet información referente a esos términos y a esos personajes. Debe prestarse especial atención al término historia, ya que nos puede llevar a informaciones que nada tienen que ver con la radioastronomía; por eso es necesario usarla combinada con radioastronomía, porque estamos interesados en obtener información sobre la radioastronomía como ciencia en general, así como sobre sus orígenes.

Una estrategia a seguir es que busquen primero las definiciones de los conceptos o los hechos biográficos de los personajes. Como es lógico, no es necesario que se limiten sólo a páginas escritas en castellano, sino que pueden, por ejemplo, buscar también información en inglés usando los términos *radioastronomy, history, jansky* y *reber*; o recurriendo a diccionarios bilingües. También se puede trabajar con otros idiomas, si fuera conveniente. De nuevo debe prestarse especial atención al término *history*.

Para finalizar, pueden usar el procesador de texto para crear un documento que recopile toda la información obtenida.



PARTN_eR

Actividades de desarrollo

A2.1 Actividad de lápiz y papel y/o multimedia

Biografías de Jansky y de Reber.

Con toda la información referente a Jansky y Reber obtenida por los alumnos, se les pide ahora que la completen para escribir la biografía de cada uno de ellos, haciendo el máximo hincapié en la importancia de reflejar lo más detalladamente posible cada una de las investigaciones y de los descubrimientos realizados, y no tanto en los aspectos de su vida personal. También es aconsejable que busquen imágenes que sirvan para ilustrar toda la información acumulada y que les ayude a hacerse una idea global de los orígenes de la Radioastronomía.

4

A2.2 Actividad de lápiz y papel y/o multimedia

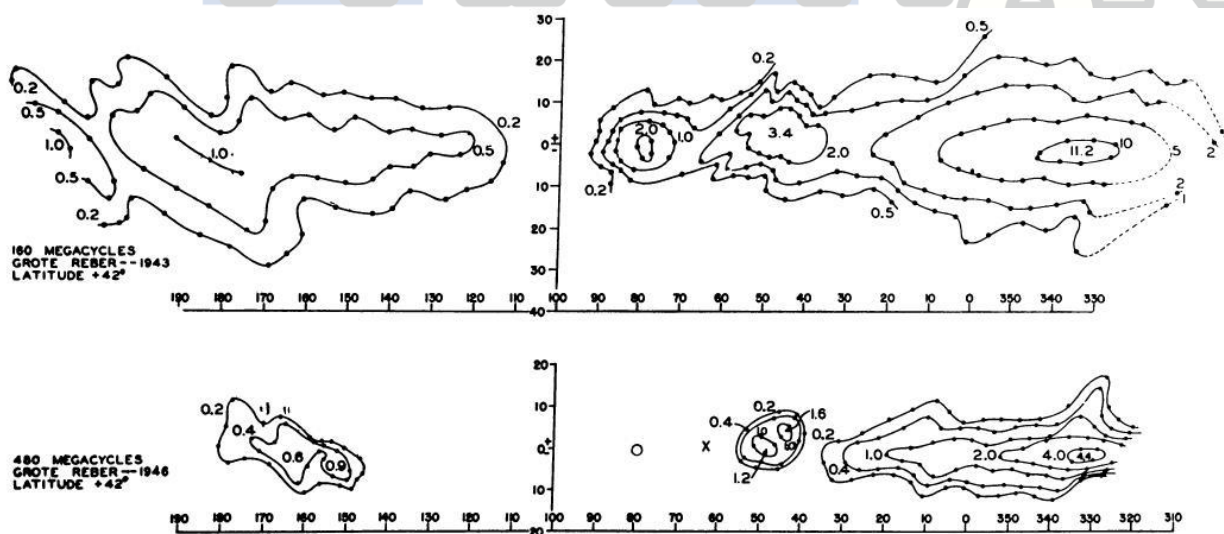
Descubrimientos científicos relevantes de Jansky y Reber.

Para que los alumnos distingan entre lo que serían resultados o descubrimientos científicos y aspectos propios de las investigaciones, como pueden ser el diseño de aparatos y dispositivos, o el planteamiento de hipótesis de trabajo, en esta actividad se les pide que escriban en una plantilla y de manera cronológica, los resultados o descubrimientos científicos relevantes de Jansky y de Reber. En un primer intento, los alumnos podrían hacer la actividad de memoria, sin consultar ninguna fuente; pero después podrían usar las biografías de ambos, para que discriminen así entre todos los datos que aportan.

A3 Actividad de lápiz y papel

Representar gráficamente la situación de radio fuentes sobre el primer radio mapa publicado por Reber.

Vamos a usar el radio mapa original publicado por Reber en 1949 en la revista *Sky&Telescope* para localizar en él las primeras radio fuentes intensas observadas, además del centro y plano galácticos.



A4 Construcción de aparatos sencillos

Realizar maquetas a escala de las antenas de Jansky y Reber.

En esta actividad se propone a los alumnos la construcción a escala de las antenas que usaron tanto Jansky como Reber para hacer sus investigaciones. El primer paso es buscar toda la información necesaria para hacerse una idea de cómo eran las antenas, su forma, dimensiones y funcionamiento.

A continuación, se debe elegir la escala a la que se va a realizar la construcción y los materiales que se van a usar. Esta elección debe hacerse en función del grado de implicación y de pericia de los alumnos. Es aconsejable recurrir a materiales sencillos y también a material de reciclado: papel, cartón, cartulina, tapones de todo tipo, envases de plástico y cosas por el estilo; para que la actividad se pueda desarrollar sin problemas en el aula. Si se puede disponer del aula-taller de Tecnología, entonces se pueden realizar las antenas con otros materiales, como cartón-pluma, madera o alambre.

A5 Actividad de lápiz y papel

Detectives radioastronómicos: ¿Por qué la antena de Jansky tenía una longitud de 30 metros? ¿No podía ser un poco mayor o un poco menor?

Un fragmento recuperado de un incendio de la patente original de la antena de Bruce nos puede ayudar a encontrar la respuesta.

Comenzamos nuestra investigación con los datos siguientes:

- Un fragmento recuperado de un incendio de la patente original de la antena de Bruce.
- Una fotografía de la antena original de Jansky.
- Un fragmento de uno del primer artículo de Jansky publicado en la revista *Proceedings of the IRE* en diciembre de 1932.

Si fuera necesario, también podemos buscar algún dato en la biografía de Jansky.

Para empezar, a partir del fragmento podemos deducir la relación que hay entre las dimensiones de la antena y la longitud de onda a la que se pretende que opere, representada por la letra griega λ .

A continuación, podemos obtener esta longitud de onda a partir de la frecuencia de trabajo de la antena que aparece en el fragmento del artículo, o también de su biografía.

Finalmente, podemos completar el cálculo sabiendo cómo es la forma exacta de la antena a partir de las fotografías que tenemos de ella.

Con todo esto deducimos que si la frecuencia de trabajo es de 20,5 Mhz, la l.d.o. asociada es de 14,6 metros. Y de las fotografías y del fragmento que nos ha quedado de la patente sabemos que la longitud total de la antena es el doble de la l.d.o. de trabajo, luego resulta que la longitud de la antena es de 29,2 metros, muy cercana al valor de 30 metros que aparece en la biografía.

Actividades de refuerzo

A6 Actividad de lápiz y papel

Concurso: ¿Jansky o Reber?

Se hacen cuatro equipos dentro del grupo y cada equipo designa a uno de los alumnos que lo compone como portavoz. El juego se compone de 40 fichas que se van mostrando una tras otra a los equipos. En cada una de las fichas aparece una frase o una imagen asociada a Jansky o a Reber. Cada grupo dice a través del portavoz su respuesta, Jansky o Reber, para tratar de obtener la puntuación correspondiente a esa pregunta. La primera respuesta correcta se lleva 4 puntos, la segunda 3, la tercera 2 y la cuarta, si la hubiera, 1 punto. Detrás de cada ficha aparece la imagen de Jansky o de Reber para validar la respuesta de cada grupo. Gana el juego el equipo que acumule más puntos.

Fuente fotografías: NRAO/AUI/NSF y Reber estate.

A7 Actividad de lápiz y papel

Traducir y resumir artículos originales de Jansky y Reber.

En esta actividad los alumnos deben traducir del inglés los originales de:

- Los resúmenes de los tres artículos que Jansky publicó en la revista *Proceedings of the IRE* en diciembre de 1932, octubre de 1933 y octubre de 1935, respectivamente.
- La noticia sobre el descubrimiento de Jansky aparecida en la primera página del *New York Times* el 5 de mayo de 1933.
- El artículo de Reber titulado *Cosmic Static*, publicado en la revista *Astrophysical Journal* en 1944.

A pesar de tratarse casi todos ellos de artículos científicos, no son complicados de entender. Además, reflejan bastante bien los razonamientos que llevaron, tanto a Jansky como a Reber, a establecer sin ningún género de dudas las bases de una nueva disciplina, la Radioastronomía. Para facilitar la tarea de la traducción, muchos de los conceptos tratados en los textos son ya conocidos por los alumnos, así que la terminología científica usada les tiene que ser ya familiar.

Actividades de ampliación

A8 Actividad de lápiz y papel

Ordenar cronológicamente las fichas del juego ¿Jansky o Reber?

Para esta actividad pueden usarse tanto las biografías como las plantillas con los hechos relevantes de Jansky y Reber. Otra opción puede ser que se nombre un año y que se elijan las fichas cuya información pertenezca a dicho año, teniendo presente que no todas las fichas recogen información que pueda ser asociada a un instante de tiempo. Para esos casos, puede tomarse un hecho relevante relacionado. Por ejemplo, cuando se indican las dimensiones o curiosidades de las antenas, podemos asociar esas fichas a las fechas de finalización de su construcción. Todo esto debe hacerse antes de empezar.

También recordar que los periodos correspondientes a Jansky y a Reber no coinciden en el tiempo. Así, las fichas de Jansky se distribuyen entre 1928 y 1935; y las de Reber lo hacen a partir de 1936.

A9 Actividad multimedia

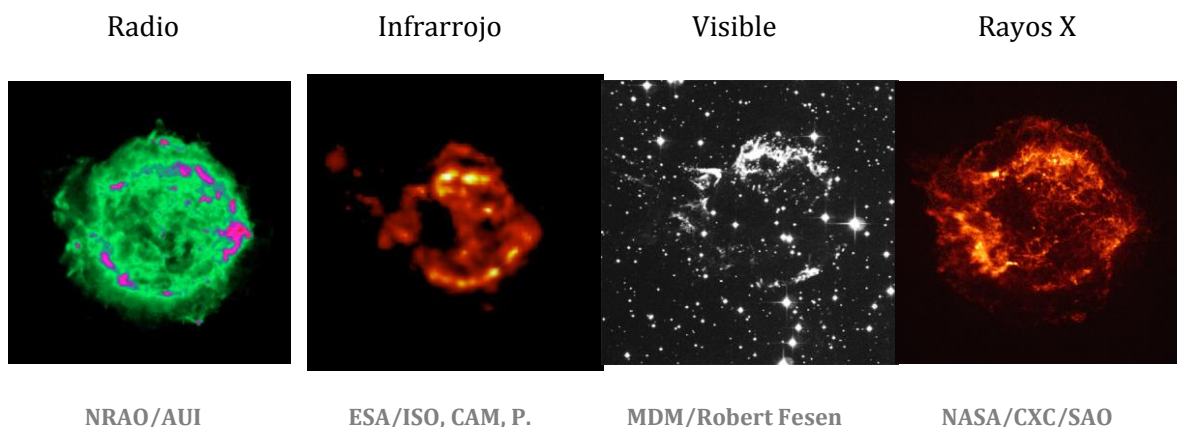
Identificación de las radio fuentes del radio mapa de Reber.

En esta actividad, los alumnos van a buscar toda la información disponible sobre las radio fuentes que aparecen en el radio mapa de Reber. Para cada una de las fuentes, los alumnos deben hallar datos:

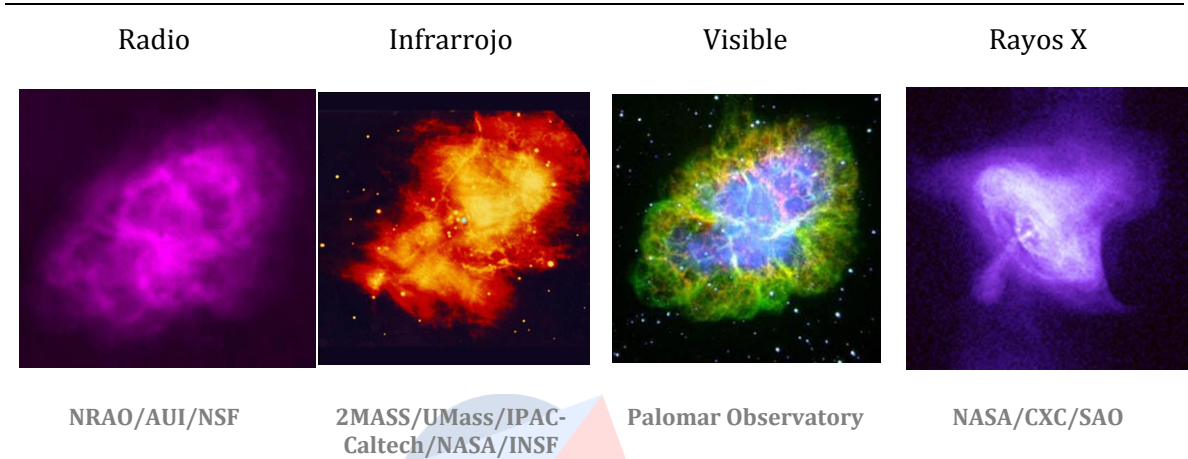
- Sobre su situación en el espacio, tomando como referencia la constelación en la que se encuentra. Para ello pueden recurrir a realizar esquemas o dibujos que sitúen cada objeto dentro de la constelación a la que pertenecen. También pueden hallar sus coordenadas ecuatoriales o altazimutales y situarlas sobre un planisferio, de modo que puedan predecir si serán visibles o no sobre el horizonte del lugar en un momento dado.
- Sobre su apariencia. Para ello pueden recurrir a imágenes en los diferentes rangos de longitudes de onda. Además, esta información multirango permite averiguar los fenómenos físicos que están teniendo lugar en las diferentes zonas de la fuente.
- Sobre sus características. Para ello, pueden recopilar información sobre los distintos tipos de objetos involucrados: remanentes de supernova, radio galaxias, nubes moleculares, etc.

A modo de ejemplo, mostramos algunas imágenes de las radio fuentes implicadas:

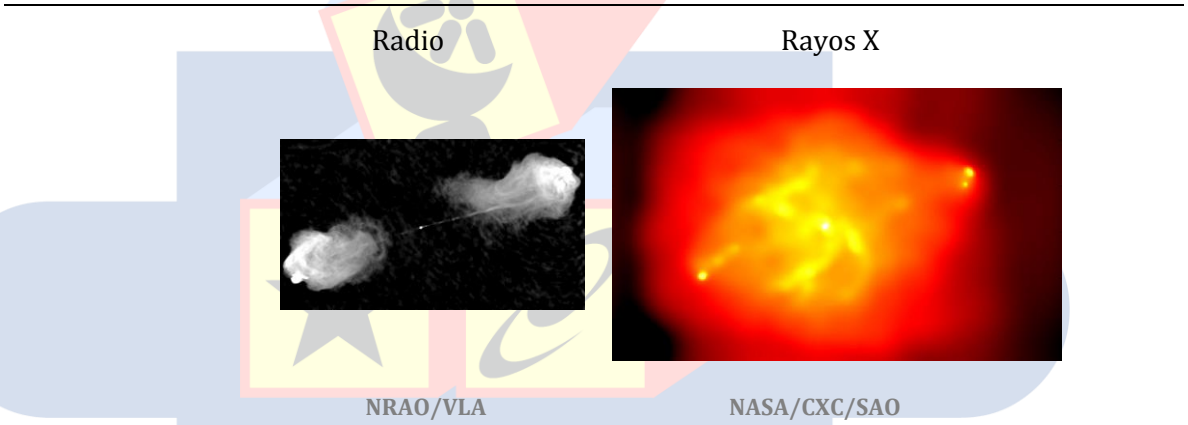
Casiopea A



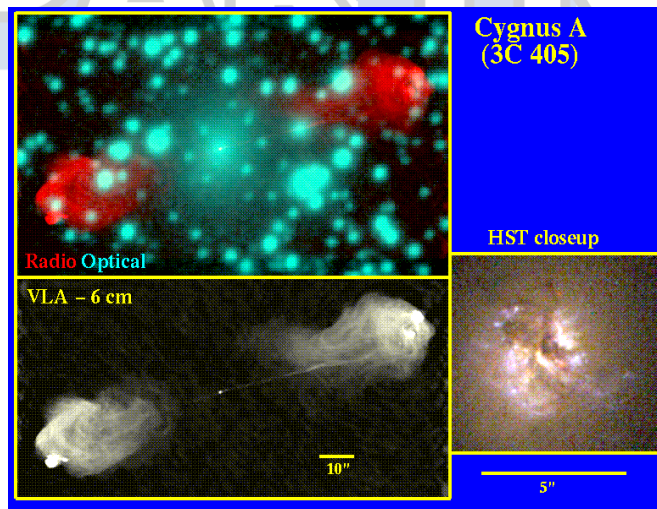
Nebulosa del Cangrejo



Cygnus A

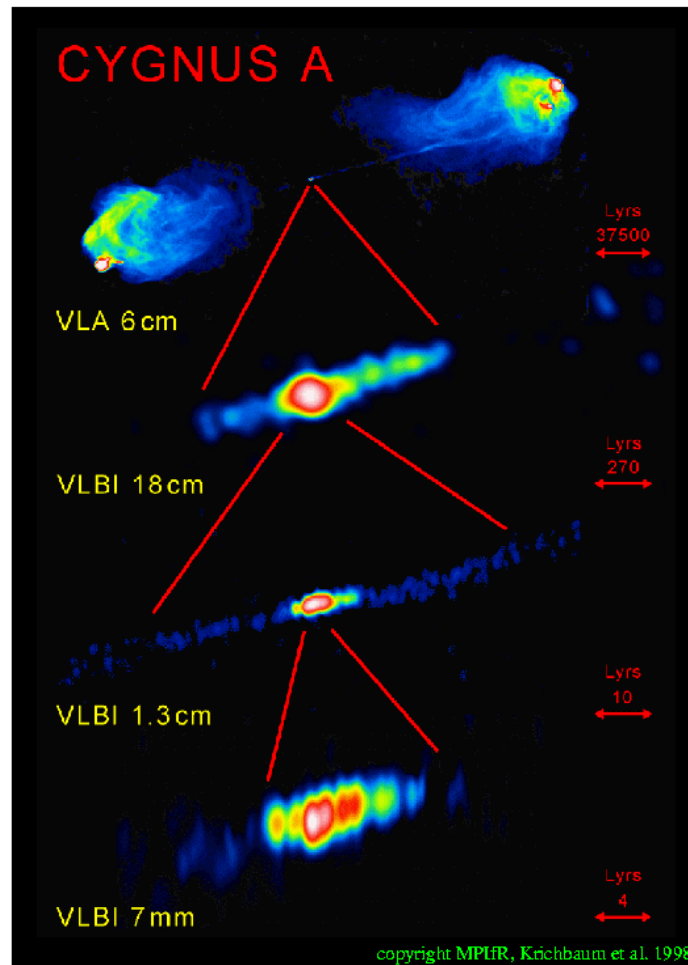


Multirrango



<http://www.astr.ua.edu/keel/agn/cygnusa.html>

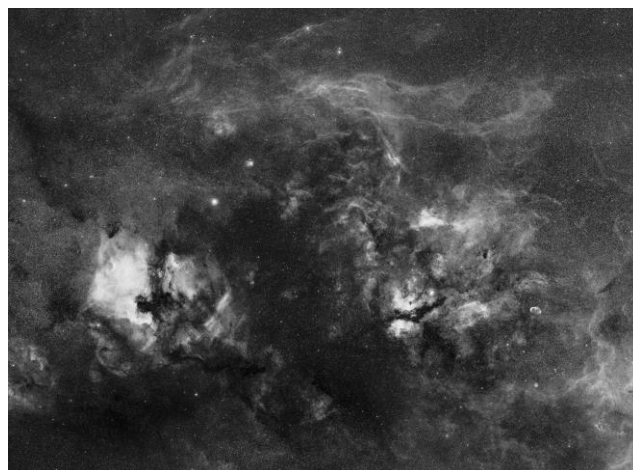
Radio



PARTNER

Cygnus X

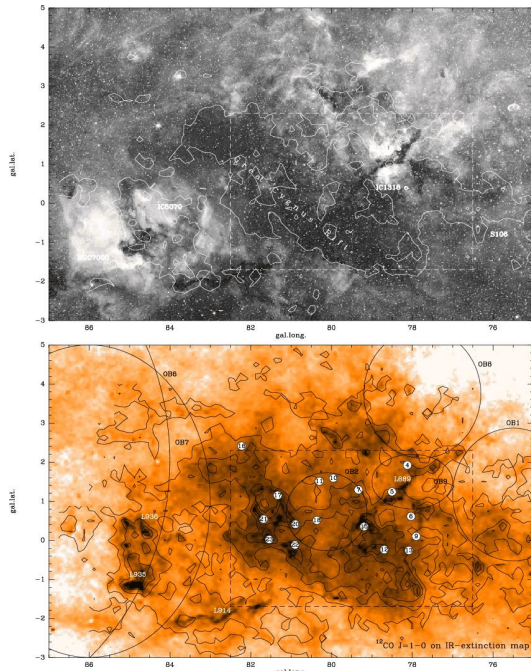
Visible (H α)



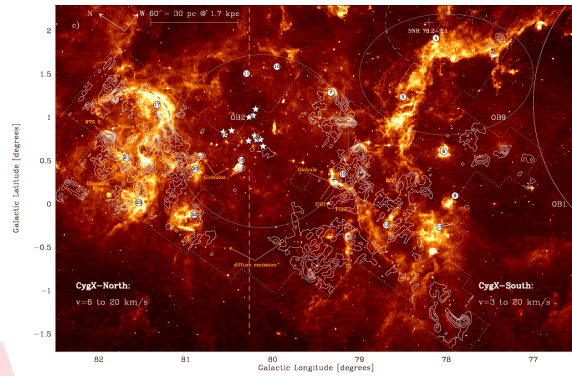
William McLaughlin (nightskypictures.com)

Radio + Visible ($H\alpha$)

Radio + Infrarrojo



Radio + Visible



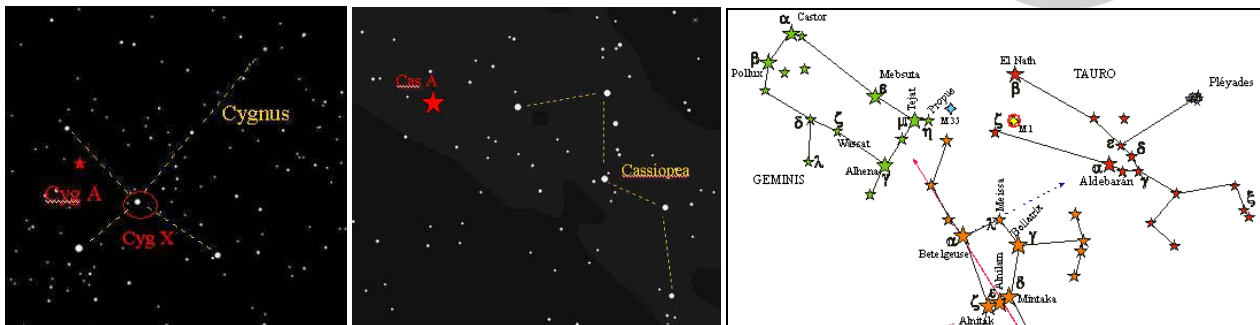
KOSMA (Schneider *et al.* 2006)

Superior: William McLaughlin (nightskypictures.com) y ^{12}C survey (Dame *et al.* 1987) contornos.

Inferior: 2MASS y ^{12}C survey (Dame *et al.* 1987) contornos.

Los alumnos deben crear una presentación Power Point donde presentar toda esta información de manera visualmente atractiva. Pueden hacerse diferentes grupos de modo que cada uno de ellos haga una pequeña presentación explicando un aspecto muy específico de una de las radio fuentes, a elegir. Se podría hacer, si se prefiere, una presentación para cada uno de los rangos de l.d.o., para todas las fuentes; o una presentación individual para cada una de las fuentes, pero para todos los rangos de l.d.o. posibles. También se puede buscar información y hacer presentaciones donde se expliquen los mecanismos de emisión involucrados para cada una de las diferentes fuentes. Como en todas las ocasiones anteriores, los alumnos pueden crear guiones para exponer las presentaciones, de modo que no tengan que abusar demasiado del texto en las diapositivas y ni tampoco ponerse nerviosos por su falta de memoria a la hora de explicar los contenidos.

A continuación mostramos en las siguientes figuras las posiciones de las diferentes fuentes en el cielo:



Parte II

FUNDAMENTOS DE RADIOASTRONOMÍA

Mecanismos de emisión de ondas de radio

11



Actividades de presentación o introducción

A11 Lectura de documentos

Artículos de prensa donde aparece el término radioastronomía y términos asociados a los mecanismos de emisión de ondas de radio.

En esta actividad, los alumnos hacen resúmenes o esquemas de la información aparecida en artículos de prensa para delimitar y definir, en una primera aproximación, los conceptos que se van a ver en este tema. Las palabras clave que nos sitúan en el tema pueden presentarse a los alumnos en una lista desordenada. En este tema, la lista es la siguiente:

espectro electromagnético	ultravioleta	mecanismos de emisión no térmicos	radio
radiación sincrotrón	rayos x	longitud de onda	infrarrojo
cargas eléctricas aceleradas	frecuencia	líneas de emisión	velocidad de la luz
máser	gas ionizado	radiación ciclotrón	frecuencia
microondas	cuerpo negro	mecanismos de emisión térmicos	rayos gamma
radiación electromagnética	ondas de radio	ondas electromagnéticas	visible

Más tarde pueden usar los datos que aparecen en los distintos artículos para comprobar que la información es correcta y para afianzar conceptos. Pueden usarse enciclopedias o diccionarios enciclopédicos para buscar información sobre los distintos términos que aparecen en la lista.

A12 Actividad multimedia

Búsqueda de información en Internet usando como criterio de búsqueda los términos de la tabla de la actividad anterior.

Usando las palabras de la tabla de la actividad anterior, los alumnos deben buscar en Internet información sobre ellas. Ahora los alumnos tienen una base conceptual que les permite discriminar entre la información de que disponen. Una estrategia a seguir es, como en ocasiones anteriores, que obtengan primero las definiciones y que no se limiten sólo a páginas en castellano, sino que prueben a buscar información en otros idiomas.

Actividades de desarrollo

A2 Actividad multimedia

Uso de una presentación PowerPoint que explica los mecanismos de emisión de las ondas de radio.

Se les puede pedir a los alumnos que hagan esquemas de la información aparecida, a modo de apuntes.

A3 Actividad de lápiz y papel

¿Emisión térmica o no térmica?

A partir de la figura dada, indicar los tipos de mecanismo de emisión, térmico o no térmico, en cada uno de los distintos objetos celestes que aparecen.

Como ya hemos visto, la parte visible del espectro electromagnético es la radiación electromagnética comprendida en un rango de frecuencias al cual es sensible el ojo humano. Pero el espectro electromagnético no posee límite de frecuencias, ni superior ni inferior, lo que sugiere que se extiende a lo largo de un amplísimo rango de frecuencias, mucho mayor que el rango que puede detectar el ojo humano.

El espectro electromagnético incluye desde la radiación de radio frecuencia (RF), que correspondería a la menor frecuencia, hasta los rayos gamma, la radiación de mayor frecuencia. Entre ambos rangos se sitúan, desde las ondas de radiofrecuencia y según crece la frecuencia, el infrarrojo (IR, que significa por debajo del rojo), la luz visible, el ultravioleta (UV, que significa más allá del violeta) y los rayos X, hasta llegar finalmente a los rayos gamma. Todos estos nombres representan simplemente diferentes frecuencias del mismo fenómeno, la radiación electromagnética.

La radiación electromagnética de radiofrecuencia comprende los valores de frecuencias entre los 5 kHz y los 300 GHz. Las radiofrecuencias se dividen, a su vez, en rangos denominados bandas tales como la banda S o la banda X. Los diferentes radiotelescopios se diseñan para operar a determinadas frecuencias dentro de ciertas bandas. PARTNeR puede observar en la banda S y en la banda X. Muchas investigaciones radioastronómicas se realizan en estas frecuencias.

¿Cuál es la causa de que la radiación electromagnética sea emitida con diversas frecuencias? Estas diferencias en la frecuencia de la emisión, junto con algunas otras características que podemos observar, nos dan mucha información sobre la fuente emisora de la radiación, así como sobre el medio a través del cual se ha propagado. La radiación electromagnética es producida por dos tipos de mecanismos: térmicos y no térmicos.

Mecanismos de emisión térmicos

En los sólidos, las moléculas y los átomos están vibrando continuamente. En un gas, las moléculas se desplazan libremente, colisionando continuamente entre sí.

Cualquiera que sea la cantidad de movimiento molecular que haya en la materia, la velocidad está relacionada con la temperatura, de modo que cuanto más caliente está el material, más rápidamente vibran o se mueven sus moléculas.

Emisión de cuerpo negro

Todo cuerpo emite la energía que ha absorbido. A un objeto que absorbe toda la energía que recibe y

luego la emite en todo el espectro de frecuencias (aunque no la misma cantidad) al mismo ritmo con que fue absorbida se le denomina Cuerpo Negro. Los objetos emiten radiación de manera diferente, unos lo hacen en forma de radiación infrarroja, otros en luz visible y otros en el ultravioleta. Toda la materia conocida tiene este comportamiento, y, por supuesto, los cuerpos también emiten radiación en el rango de las radiofrecuencias. Esta fracción es la que estudia la radioastronomía.

La radiación electromagnética es generada por cargas eléctricas aceleradas, es decir, por cargas cuya velocidad o cuya dirección de movimiento sufren cualquier variación. En un objeto caliente, las moléculas que lo forman vibran (si se trata de un sólido) o están colisionando continuamente entre sí (si se trata de un líquido o de un gas), moviéndose en todas direcciones y a diferentes velocidades. Cada una de estas colisiones produce la radiación electromagnética en todas las frecuencias del espectro electromagnético. Así pues, la materia que se calienta por encima del cero absoluto emite radiación electromagnética. La intensidad de la emisión y la distribución de frecuencias en el espectro electromagnético dependen de la temperatura de la materia que emite.

La propiedad que determina la radiación que emite un cuerpo negro es su temperatura.

Los cuerpos negros tienen pues tres características:

- Un cuerpo negro con una temperatura por encima del cero absoluto emite radiación en todas las longitudes de onda.
- Un cuerpo negro que está a una temperatura más alta emite más radiación en todas las longitudes de onda que otro que está a una temperatura menor.
- Cuanto mayor es la temperatura, menor es la longitud de onda a la cual se emite el máximo de la radiación.

Un trozo de metal caliente emite radiación infrarroja, que se transfiere a otros objetos en forma de calor. Si aumenta su temperatura, también emite la luz roja (extremo de frecuencia más baja de la parte visible del espectro). Si se calienta todavía más, la luz emitida se tornaría amarilla o incluso blanco-azulada.

En general, cuanto más caliente está un objeto, menor es la longitud de onda de la radiación que emite. Pero debemos hacer una importante matización. En realidad, lo que ocurre es que para temperaturas más altas, hay más energía emitida en todas las longitudes de onda, pero la cantidad máxima de energía se irradia en longitudes de onda más cortas. Esta relación se conoce como ley de Wien.

Es importante insistir en que cuanto más corta es la longitud de onda (y más alta por tanto la frecuencia), más energética es la radiación. Veamos esto en un par de ejemplos:

- Cuando tomamos el sol en un día soleado y nuestra piel comienza a calentarse, no es ese calor el responsable del efecto de bronceado. La mayor parte del calor que sentimos es el resultado de la radiación infrarroja que incide sobre la superficie de nuestra piel. Es, sin embargo, la radiación ultravioleta, de mayor frecuencia, (y, por tanto, de mayor energía) la que penetra a través de la superficie de la piel y estimula las capas más profundas para producir la melanina que da como resultado el bronceado de la piel, que, en el fondo, no es más que el efecto de una ligera quemadura.
- Las radiografías se realizan usando los rayos X, que se sitúan en el espectro en la zona correspondiente a las frecuencias más altas. De hecho, tienen suficiente energía como para atravesar la piel y otros tejidos blandos. De este modo, las radiografías usadas en medicina usan técnicas de proyección de imagen para ver los huesos y los tejidos blandos de diferentes densidades

Un haz de radiación electromagnética puede verse como una corriente de paquetes minúsculos de energía denominados fotones. La ley de Planck indica que la energía que lleva cada fotón es directamente proporcional a su frecuencia. Para llegar al valor exacto de la energía, la frecuencia debe

multiplicarse por la constante de Planck ($6,626 \times 10^{-34}$ J·s).

Si sumamos las contribuciones de todas las partes del espectro electromagnético, obtenemos la energía total emitida por un cuerpo negro en todas las longitudes de onda. La energía total, emitida por segundo y por metro cuadrado, por un cuerpo negro a una temperatura dada es proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Esta relación se conoce como la ley de Stefan-Boltzmann. Si el Sol, por ejemplo, fuera el doble de caliente y con el mismo tamaño, irradiaría 16 veces más energía de lo que hace ahora.

El sol y el resto de las estrellas, para la mayoría de los propósitos, se pueden considerar como cuerpos negros. Podemos estimar las temperaturas de estos objetos observando las frecuencias de la radiación que emiten, es decir, según sus espectros electromagnéticos.

La radiación de origen térmico tiene una característica que ayuda a distinguirla de otros tipos de radiación: la intensidad aumenta generalmente con la frecuencia.

Emisión continua de un gas ionizado

Los gases también emiten radiación térmica de cuerpo negro. Los plasmas son gases ionizados y se consideran un cuarto estado de la materia, junto con los sólidos, líquidos, y gases. De hecho, los plasmas son la forma más común de materia en el universo conocido, llegando a constituir hasta el 99% de ella, ya que pueden hallarse dentro de las estrellas y en el gas interestelar. Sin embargo, los plasmas naturales son relativamente raros en la Tierra, sobre todo porque las temperaturas no son suficientemente altas como para producir el grado de ionización necesario. El flash de un relámpago y el resplandor de las auroras boreales son ejemplos de plasmas naturales. Pero en cuanto franqueamos la frontera invisible de la atmósfera, hallamos el plasma que forma los cinturones de radiación de Van Allen y el viento solar.

Un átomo de un gas se ioniza cuando recibe la suficiente energía como para expulsar un electrón, dejando atrás un ion cargado positivamente y el electrón cargado negativamente.

Una vez separadas, las partículas cargadas tienden a recombinarse con sus contrarias a un ritmo que depende de la densidad de electrones. Cuando el electrón y el ion aceleran uno hacia el otro, el electrón emite energía electromagnética (el ion, al tener una masa mucho mayor que el electrón, se acelera mucho menos).

Esto es así porque toda partícula libre cargada que sufre una aceleración o una deceleración emite radiación electromagnética. A esta radiación se le denomina radiación de frenado o *bremsstrahlung*, y también emisión libre - libre. Además, la energía cinética de los átomos que chocan tiende a separarlos en electrones e iones positivos, haciendo que el proceso continúe indefinidamente. Por ello, el gas tendrá siempre una cierta proporción átomos neutros junto a los átomos ionizados.

Las partículas cargadas, en su movimiento, pueden generar concentraciones locales de carga positiva o negativa, lo que da lugar a la aparición de campos eléctricos y magnéticos. Estos campos afectan al movimiento de partículas cargadas lejanas. Así, zonas del gas ionizado ejercen fuerzas sobre otras, incluso a grandes distancias. Un gas ionizado se convierte en un plasma cuando el número de átomos que se ionizan es tal que el gas exhibe un comportamiento colectivo.

Siempre que haya una cantidad relativamente elevada de iones libres y con cargas opuestas coexistiendo en un espacio relativamente pequeño, la combinación de sus reacciones puede originar radiación electromagnética intensa y continua en un amplio rango de radiofrecuencias. Tales condiciones se dan alrededor de estrellas, de nebulosas, de cúmulos estelares, e incluso de planetas como Júpiter.

Emisión de líneas espectrales de átomos y moléculas

Mientras que el mecanismo que opera en las emisiones térmicas de los gases ionizados está relacionado con electrones que se separan de los átomos a los que pertenecen, la emisión de la línea

de hidrógeno neutro y de otros átomos y moléculas está relacionada con electrones que cambian de estado de energía dentro del átomo, emitiendo un fotón cuya energía y longitud de onda son características de ese átomo. Así, este mecanismo de emisión de radiación se llama emisión de líneas, puesto que la longitud de onda de cada átomo ocupa una línea discreta característica dentro del espectro electromagnético, algo así como una huella dactilar.

En el caso de los átomos neutros (no ionizados) de hidrógeno, en su estado más bajo de energía (estado fundamental), el protón y el electrón giran en sentidos opuestas. Si el átomo del hidrógeno adquiere una pequeña cantidad de energía, por ejemplo chocando con otro átomo, con un ion o con un electrón, o absorbiendo un fotón, los espines del protón y del electrón en el átomo de hidrógeno pueden alinearse, de modo que el átomo pasa a un estado levemente excitado. Si el átomo pierde entonces esa energía, vuelve a su estado fundamental, y la energía perdida es emitida como un fotón de longitud de onda de exactamente 21,11 cm (que equivale a una frecuencia de 1428 MHz). Esta radiación aparecerá como una línea de emisión en el espectro: se la conoce como la línea de 21 cm del hidrógeno neutro.

El hidrógeno es el elemento químico dominante en el universo. Dado que es el componente principal del gas interestelar, caracterizamos normalmente las regiones del espacio en función del hidrógeno que contienen. Así, si una región del espacio interestelar contiene hidrógeno neutro, la llamamos región HI; si el hidrógeno presente está ionizado, la denominamos región HII.

Algunos investigadores que trabajan en la búsqueda de inteligencia extraterrestre piensan que otras especies inteligentes podrían utilizar esta línea de emisión universal del hidrógeno neutro de l.d.o. de 21 cm para codificar un hipotético mensaje; así, estos investigadores han diseñado sus antenas para detectar modulaciones a esta longitud de onda. Desde una perspectiva menos arriesgada, es más interesante y provechoso realizar las observaciones a esta longitud de onda porque nos dan mucha información sobre el medio interestelar y sobre la localización y extensión del gas interestelar frío.

Mecanismos de emisión no térmicos

La radiación también puede ser producida por mecanismos que no guardan relación con la temperatura del objeto, es decir, hay también radiación de origen no térmico.

Radiación sincrotrón

A pesar del gran número de fuentes cuya emisión es de origen térmico, la mayoría de la radiación recibida de nuestra propia galaxia, particularmente de la radiación de fondo descubierta por primera vez por Jansky en los años 30 del siglo pasado, y la mayor parte de la recibida de otras galaxias, es de origen no térmico.

El mecanismo principal que da origen a este tipo de radiación no tiene relación con la temperatura, sino con la interacción de partículas cargadas con campos magnéticos.

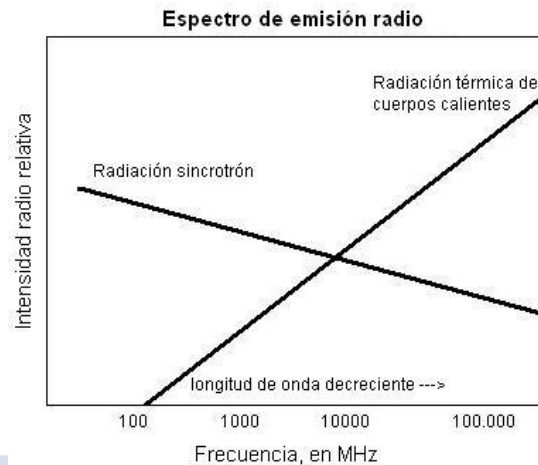
Cuando una partícula cargada se sumerge en un campo magnético, el campo la obliga a moverse en una trayectoria circular o espiral alrededor de las líneas de fuerza magnéticas. La partícula, entonces, se acelera y emite radiación electromagnética.

Si las condiciones no son relativistas, es decir, cuando la velocidad de la partícula está muy por debajo de la velocidad de la luz, esta radiación, denominada radiación ciclotrón, no es lo bastante intensa como para tener importancia astronómica. Sin embargo, cuando la velocidad de la partícula alcanza valores comparables a la velocidad de la luz, emite un tipo de radiación ciclotrón mucho más intensa, denominada radiación sincrotrón.

La emisión sincrotrón se produce artificialmente en los anillos de almacenamiento de un acelerador de sincrotrón, y en la naturaleza se observa en las explosiones y en remanentes de supernovas, radiogalaxias y púlsares. Los cuásares son fuentes de radiación sincrotrón que no sólo emiten en las

longitudes de onda de radio, sino que también lo hacen en las longitudes de onda visibles y de rayos X.

Una diferencia muy importante entre la radiación de origen térmico y la originada por mecanismos no térmicos es que mientras que la intensidad, y por tanto la energía, de la radiación térmica aumenta con la frecuencia, la intensidad de la radiación de origen no térmico disminuye generalmente con la frecuencia.



17

Máser

Es un amplificador similar al láser, pero que opera en la región de microondas del espectro electromagnético y sirve para recibir señales muy débiles que han sido tremendamente amplificadas. Cuando una molécula o un átomo se hallan en un estado energético adecuado y pasan cerca de una onda electromagnética, ésta puede inducirles a emitir energía en forma de otra radiación electromagnética con la misma longitud de onda que refuerza la onda de paso y desencadena una cascada de fenómenos que llevan a aumentar mucho la intensidad del impulso original. En algunas nubes de materia interestelar excitada por la radiación de estrellas cercanas se produce el mismo fenómeno, que conduce a la formación de un intenso haz de radiación con longitud de onda bien definida.

Los máseres astronómicos son otra fuente de radiación no térmica. Máser es el acrónimo de *Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (es decir, amplificador de microondas por la emisión estimulada de radiación). Los máseres son zonas muy compactas dentro de las nubes moleculares, donde la emisión de ciertas líneas moleculares puede ser enormemente amplificada. El medio interestelar contiene pequeñas cantidades de agua (H_2O), radicales como el grupo hidroxilo (OH), monóxido del silicio (SiO) y metanol (CH_3OH). Normalmente, debido a la escasez de estas moléculas, sus líneas de emisión serían muy difíciles de detectar, y con muy baja resolución. Sin embargo, debido al fenómeno de máser, la amplificación es tan alta que estas nubes pueden ser detectadas ¡incluso en otras galaxias!

A grandes rasgos, el fenómeno máser tiene lugar cuando las nubes moleculares se ven sometidas a un campo de radiación intenso, como puede ser el de una fuente próxima, por ejemplo una estrella luminosa; o cuando chocan con las moléculas mucho más abundantes de H_2 . Lo que ocurre entonces es el fenómeno denominado inversión de la población. En ese momento, hay más moléculas en un estado excitado (es decir, sus electrones han saltado a un nivel de mayor energía), que en el estado más estable de mínima energía. El proceso se llama bombeo. Mientras la radiación que causa el bombeo va atravesando la nube, se amplifica exponencialmente, emergiendo con la misma frecuencia y fase que la original, pero enormemente amplificada. ¡Algunos máseres emiten como las estrellas! Este fenómeno se relaciona con el de emisión de líneas espectrales. Es curioso señalar que este mismo principio se utiliza en un dispositivo llamado amplificador máser, que a veces se instala como parte de algunos radiotelescopios para amplificar la señal recibida por la antena.

Es posible detectar radiación electromagnética procedente de cualquier objeto en el universo. Las estrellas visibles irradian una gran cantidad de radiación electromagnética. Lógicamente y dado que las podemos ver, mucha de esa radiación está en la parte visible de espectro (si no, ¿no serían estrellas visibles!). Pero una parte de la radiación emitida está en la zona del espectro de las microondas (radioondas de onda corta), y esa parte del espectro se estudia usando los radiotelescopios.

A pesar de sus temperaturas, no todas las estrellas visibles son buenos emisores de radiofrecuencia. Sólo podremos detectar las estrellas en radiofrecuencia:

- Si emiten por mecanismos no térmicos
- Si están muy cerca, en nuestro Sistema Solar (es decir, el Sol)
- Si hay gas más allá de la estrella que está emitiendo (por ejemplo, un viento estelar).

Las estrellas más calientes y brillantes emiten más radiación en las frecuencias por encima de la parte visible, emitiendo preferentemente tanto rayos X como partículas subatómicas. Sin embargo, los emisores térmicos intensos tales como el Sol emiten suficiente radiación en las radiofrecuencias como para permitir los estudios de radioastronomía. La Vía Láctea emite radioondas de origen tanto térmico como no térmico.

En esta actividad se les da a los alumnos una figura donde aparecen representados los valores del flujo radio medido para una serie de objetos celestes frente a la frecuencia y a la longitud de onda. Los alumnos deben distinguir entre las emisiones de origen térmico y no térmico. Se les puede pedir además que busquen información sobre los objetos, para así poder aventurar una causa de las emisiones.

A4 Actividad de lápiz y papel

Realizar un esquema o mapa conceptual con una lista de términos relacionados con el tema.

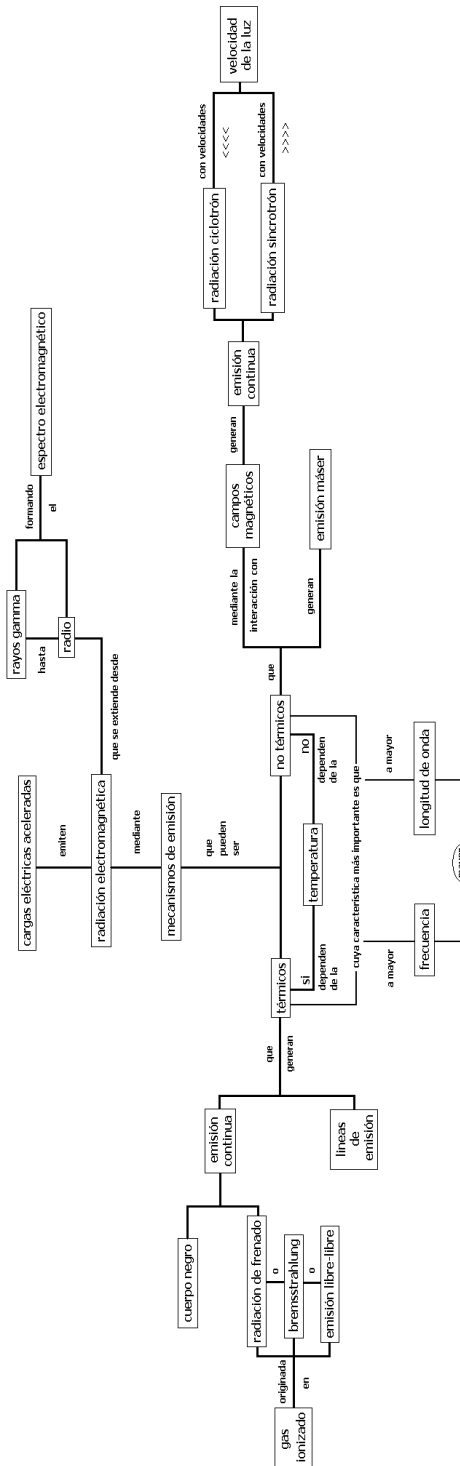
Recordamos simplemente algunos aspectos importantes de los diagramas conceptuales:

- La distribución de los conceptos que forman el diagrama debe corresponder con la relación de significado entre los mismos, con los conceptos más relevantes ocupando posiciones preferentes y resaltados convenientemente.
- Deben etiquetarse las líneas de unión para conseguir un mayor poder explicativo del mapa.
- Además de la etiqueta, es necesario añadir una flecha a cada una de las líneas del diagrama para indicar el sentido en que se establece la relación.

Presentamos a los alumnos una lista desordenada de conceptos y les pedimos que la usen para crear el esquema conceptual del tema:

espectro electromagnético	<i>bremsstrahlung</i>	mecanismos de emisión	radio
radiación sincrotrón	campos magnéticos	longitud de onda	energía
cargas eléctricas aceleradas	frecuencia	líneas de emisión	velocidad de la luz
máser	gas ionizado	radiación ciclotrón	temperatura
emisión continua	cuerpo negro	térmicos	rayos gamma
radiación electromagnética	radiación de frenado	emisión libre - libre	no térmicos

Después de que los alumnos hayan realizado sus esquemas, se presenta a los alumnos un esquema realizado por nosotros para que puedan comparar las diferentes relaciones entre conceptos y así clarificar los conceptos que no hayan quedado claros. Puede haber más de un esquema correcto desde el punto de vista conceptual, aunque las relaciones sean ligeramente diferentes. La cuestión importante que debe quedar clara a los alumnos es que existen muchas posibilidades de realización del esquema y no hay una estructura obligatoria. A continuación se muestra un posible esquema conceptual:



Actividades de refuerzo

A5 Actividad multimedia

Crear una presentación PowerPoint sobre el tema.

Los alumnos deben utilizar ahora toda la información disponible y elaborarla para fijar definitivamente lo aprendido. Pueden elaborar pequeños guiones para leerlos al presentar los trabajos. Pueden usar como punto de partida el esquema conceptual que han realizado previamente, completándolo donde sea necesario. Es interesante recordar que el uso de imágenes e ilustraciones permite visualizar mejor los conceptos implicados.

