Astronomía desde el espacio

Alberto Carramiñana (INAOE)

Guanajuato, 29 y 30 de octubre 1999

Introducción

Una disculpa al destinatario de estas notas si, en mi esfuerzo por dar un panorama completo, estas inciden con demasiada frecuencia en explicaciones poco claras basadas en términos técnicos. Mi intención no es que todo quede perfectamente explicado, sino mas bien dar un panorama general de esta nueva y creciente rama de la astronomía, y procurar unas notas que puedan servir de referencia a aquél que en el futuro quiera -formal o informalmente- comprender mas a fondo el tema y su subsecuente desarrollo.

Al lector interesado en temas variados de astronomía le recomiendo visitar nuestra página de Internet "Un rincón cerca del cielo", accesible en http://www.inaoep.mx/~rincon/ . Algunos artículos de esta página aparecen en el Apéndice. La versión a color de este artículo está en Internet en el nodo: http://www.inaoep.mx/~alberto/cursos/astronomia_espacial.ps.

1 Mas allá del arcoiris

1.1 De los colores a la radiación electromagnética

La respuesta del ojo humano determina lo que llamamos luz visible. Separamos cuantitativamente distintos tipos de luz en colores, siendo la luz blanca una combinación de varios colores y el negro la ausencia de luz (color). La luz blanca puede separarse en los colores que la componen usando un prisma. La descripción de la luz como ondas electromagnéticas permite cuantificar los distintos tipos de luz, asignandole una "longitud de onda" a cada color (ver Tabla 1).

Color	Violeta	Azul	Verde	Amarillo	Anaranjado	Rojo
Longitud de onda (nm)	400	480	550	600	660	700

Tabla 1: Los colores del arcoiris

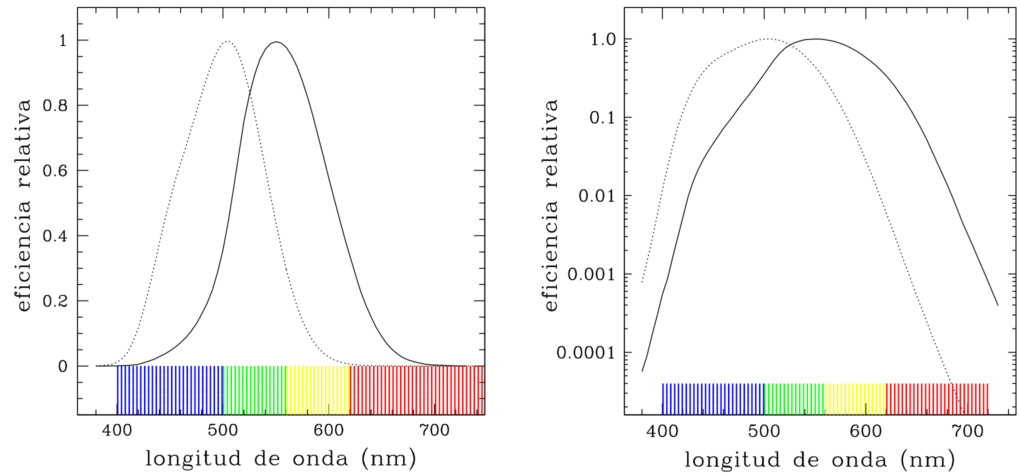

Figura 1: Respuesta del ojo humano a la luz. A la izquierda es la respuesta en escala lineal y a la derecha en escala logarítmica, notando que nuestra percepción se ajusta mas a la esta última. La línea continua indica la respuesta escotópica (condiciones de iliminación diurna) y la punteada la respuesta fotópica (baja iluminación o "visión nocturna"). La mayor eficiencia pasa del amarillo al azul.

Como se ilustra en la Figura 1, nuestros ojos son capaces de ver luz con longitudes de onda entre 400 nanómetros (violeta) y 700 nanómetros[1] (roja). La luz ultravioleta, de longitud de onda menor, es invisible al ojo humano; lo mismo para la luz infrarroja, de longitud de onda mayor.

La luz visible es una manifestación particular de lo que se denomina radiación electromagnética. En el siglo XIX se descubrieron otros dos tipos: las ondas de radio y los rayos X. A principios de siglo, se encontró que una de las radiaciones emitidas por substancias radiactivas -los rayos gamma- son tambiín radiación electromagnética. Los distintos tipos de radiación electromagnética -capaces en principio de transportar informació n desde cualquier rincón del Universo- se distinguen por sus distintas longitudes de onda, las cuales no se restringen a los "cientos de nanómetros", sino que pueden ser de kilómetros o de inferiores a 1 Angstrom (una décima de nanómetro). La luz que vemos representa una fracción pequeñisima de la variedad de tipos de ondas electromagnéticas.

La radiación se describe a veces como ondas y a veces como partículas de luz -o fotones. Comunmente la descripción en términos de ondas se emplea para radiación con longitud de onda grande (mayor que la ultravioleta) y la descripción en términos de fotones para rayos X y gamma (ver siguiente sección).

[1] un nanómetro es una millonésima de milímetro

1.2 El espectro electromagnético

Los distintos tipos de radiación forman lo que se denomina el espectro electromagnético, que viene siendo la extensión máxima del arcoiris. Las distintas regiones de este espectro se muestran en la figura 2. En ella podemos distinguir:

- **las ondas de radio:** nos son familiares desde principios de siglo con el desarrollo del radio. Frecuentemente se caracterizan en términos de su frecuencia, la cual se relaciona directamente con la longitud de onda. Las ondas de "onda larga" tienen longitudes como de un kilómetro (a 300 kHz); estaciones de AM andan en 300 metros (a 1 MHz o 1000 kHZ); la banda de FM andan en unos pocos metros (2.84 metros para la "radiante" de Puebla a 105.7 MHz); los teléfonos inalámbricos se comunican con su base a frecuencias de hasta 900 MHz, es decir longitudes de onda de 33 centímetros. Ondas de radio de mayores frecuencias requieren tecnología sofistica y se usan -por ejemplo- en aplicaciones militares. Cuando la longitud de onda se encuentra por debajo de un centímetro nos encontramos en el régimen de las microondas.

- **las microondas:** las microondas son la frontera entre las ondas de radio y la luz infrarroja. Entre las microondas de mayor frecuencia estan los ondas milimétricas. El proyecto científico mas ambicioso de México es justamente la construcción de un telescopio capaz de estudiar ondas milimétricas. El Gran Telescopio Milimétrico (GTM), ubicado junto al Citlaltepetl, será el mayor del mundo en su género.

- **el infrarrojo:** longitudes de onda inferiores a medio milímetro (o 500 micras) ya son consideradas como radiación infrarroja. El infrarrojo cubre hasta justo por debajo de una micra. A veces se distinguen tres rangos, denominados en relación a la luz visible como infrarrojo cercano (de 0.8 micras a 10 micras), infrarrojo intermedio (de 10 micras a 100 micras) e infrarrojo lejano (de 100 micras a 1 milímetro).

- **el visible:** descrita arriba, es la delgadísima región entre 0.4 y 0.7 micras.

- **el ultravioleta:** al igual que el infrarrojo, a veces se subdividide en rangos en relación al visible: el ultravioleta cercano (alrededor de 100 nanómetros) y el ultravioleta lejano (alrededor de 10 nanómetros).

- **los rayos X:** nos son familiares principalmente por su uso en medicina. Los rayos X son separados en términos no de longitud de onda sino de energía, siendo mayor la energía a menor longitud de onda. Fotones de rayos X con longitud de onda de 1 nanómetro tienen una energía de 1.2 *kiloelectrón voltios*, o keV. Los rayos X también se subdividen en *blandos*

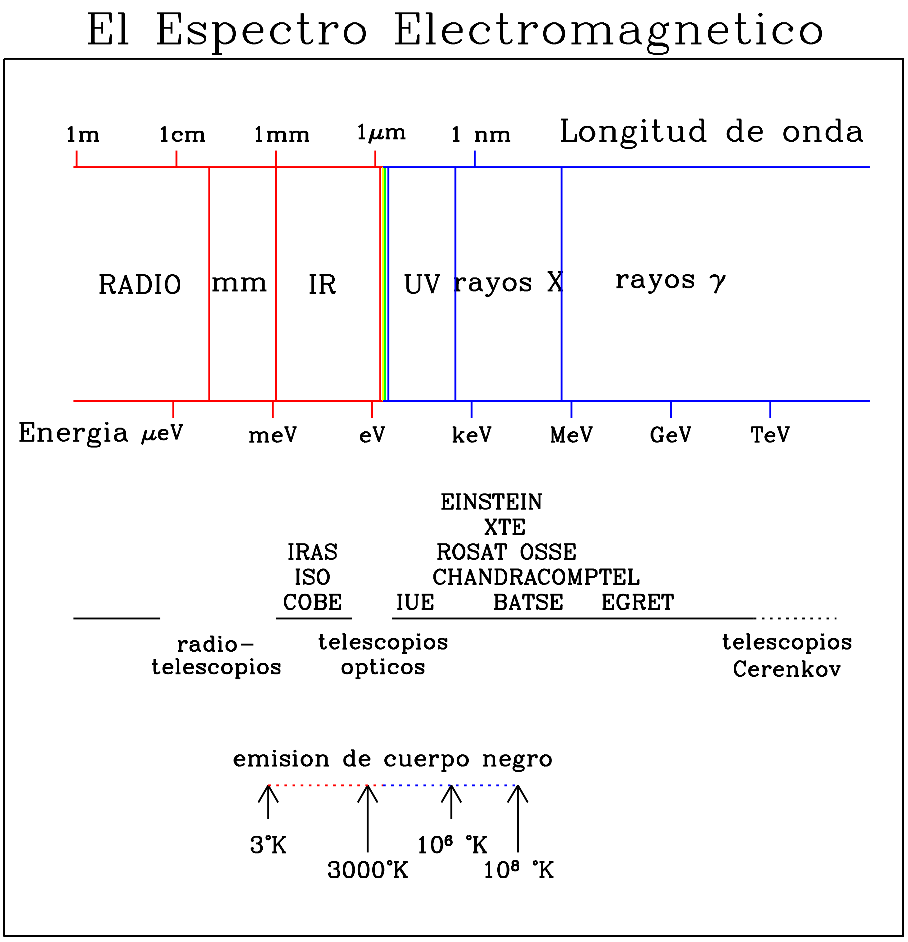

Figura 2: El espectro de radiación electromagnética. La línea horizontal separando telescopios espaciales (IRAS a EGRET) de los terrestres (radio a Cerenkov) indica las zonas de transparencia de la atmósfera a los distintos tipos de radiación electromagnética.

(energías de 1 keV o menores), intermedios (de 1 a 30 keV) y duros (de 30 a 500 keV)

- **los rayos gamma:** fotones con energías por encima de 511 keV tienen suficiente energía como para producir electrones, manifestando la equivalencia entre materia y energía. Radiación con energía por encima de este umbral se denomina rayos gamma. Fueron descubiertos como un producto de la radioactividad, los otros dos siendo rayos alfa (núcleos de helio) y rayos beta (positrones, es decir electrones con carga positiva). En la Tierra los rayos gamma son producidos en aceleradores de partículas.

Procesos físicos que actuan en distintas partes del espectro son causa de que algunos tipos de radiación puedan atravesar la atmósfera y otros no. Por ejemplo, las moléculas de oxígeno y de agua absorben con gran eficiencia luz infrarroja y microondas; la capa de ozono absorbe luz ultravioleta; los núcleos de los átomos absorben o "deshacen" los rayos X y gamma (la figura 2 marca la zona de "transparencia" de la atmósfera). Como resultado, desde la tierra solo es posible estudiar el cosmos mediante luz visible, algunos tipos muy restringidos de luz infrarroja, y ondas de radio. El desarrollo de la astronomía en las demás regiones del espectro tuvo que esperar la llegada de la era espacial (1957) y el desarrollo -constante- de tecnología capaz de detectar fotones de estos tipos.

2 Astronomía en el lejano infrarrojo

2.1 Principio

Objetos fríos -y muy fríos- emiten luz infrarroja, enfriandose mas. Hay una relación directa entre la temperatura de un objeto y el tipo de luz que emite. El Universo en si está a una temperatura de poco menos de tres grados sobre el "cero absoluto"[2], la temperatura mas baja fisicamente alcanzable, y como consecuencia brilla con radiación de longitud de onda de 1 milímetro. Nubes frías de gas y polvo donde eventualmente se formaran nuevas estrellas estan a temperaturas de -240 grados centígrados, brillando en el infrarrojo lejano. Incluso nuestros cuerpos, a 37 grados centígrados, brillan en el infrarrojo cercano (a longitudes de onda de alrededor de diez micras). Es en la región infrarroja del espectro que se estudia el Universo frío.

Un tipo de detectores de radiación infrarroja -los bolómetros- funcionan midiendo pequeñisimos aumentos de temperatura en dispositivos enfriados a temperaturas criogénicas que al recibir la radiación aumentan su temperatura. Los bolómetros reciben la radiación previamente enfocada por telescopios infrarrojos, hechos con espejos similares a los de los telescopios ópticos. Un ejemplo

[2]es decir que está a -270°C)

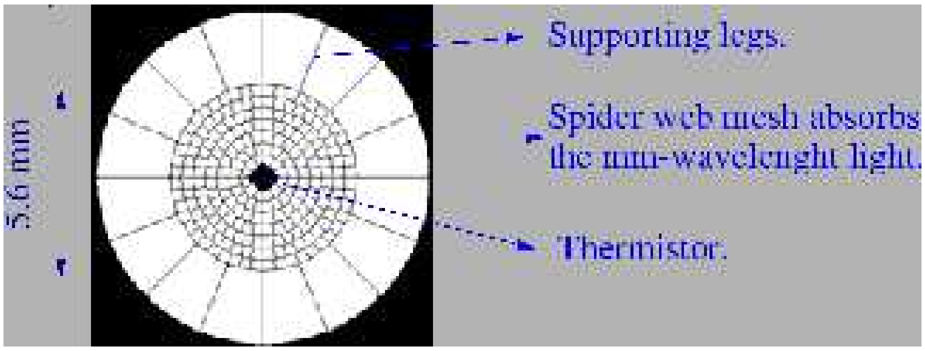

Figura 3: Bolómetro individual de la cámara BOLOCAM. La estructura de "tela de araña" capta la radiación milimétrica incidente y la transporta al dispositivo central (termistor) aumentando su temperatura.

de una "cámara bolómetro", constituida por 144 bolómetros individuales, es el instrumento BOLOCAM, a instalarse en el GTM (Figuras 3 y 4). BOLOCAM.

Entre los satélites infrarrojos y submilimétricos lanzados en el pasado destacan IRAS (InfraRed Astronomical Satellite), ISO (Infrared Space Observatory) y COBE (COsmic Background Exporer), el cual describimos en la siguiente sección. Tanto IRAS como ISO funcionaron en forma análoga a la de un telescopio convencional, apuntando a objetos específicos. IRAS, lanzado en enero 1983, consistió en un telescopio de 60 cm de diámetro con un arreglo de 62 detectores sensibles a radiación entre 12 y 100 micras, todo enfriado mediante helio líquido. Durante los diez meses de vida, determinados por la evaporación del helio, IRAS detecto discos de polvo alrededor de estrellas en nacimiento y descubrió un nuevo tipo de galaxias las cuales emiten enormes cantidades de energía en el infrarrojo, conocidas como galaxias infrarrojas ultraluminosas. IRAS mapeó el cielo entero, en el primer censo completo de fuentes infrarrojas.

ISO fue lanzado en noviembre de 1995, llevando a bordo detectores mucho mas avanzados que los de IRAS y con la misión de investigar procesos de formación estelar en otras galaxias. Los próximoa observatorios de mismo tipo son STIRF (Space Telescope InfraRed Facility) -de la NASA- y FIRST (Far InfraRed Space Telescope) -de la Agencia Espacial Europea.

El satélite COBE, al igual que la misión Planck -en desarrollo-, no estan diseñados para estudiar objetos específicos, sino la radiación de fondo de microondas residual de la gran explosión. El descubrimiento de la radiación de fondo, y su impacto, se relata en el arículo del apéndice A1. Su diseño es distinto ya que no requieren localizar objetos con precisión, pero si deben hacer mediciones de temperatura de alta precisión.

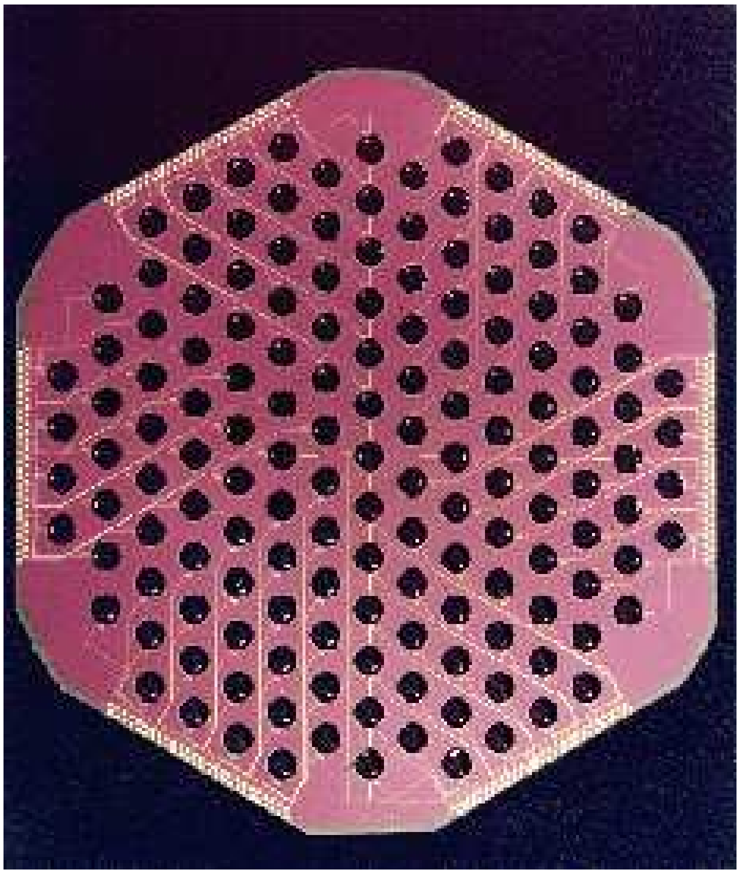

Figura 4: El arreglo de 144 bolómetros que forma la cámara BOLOCAM. Este arreglo mide 76 mm de diámetro y 0.2m de grosor. Conecciones de oro van de cada elemento a los conectores en los bordes de la cámara.

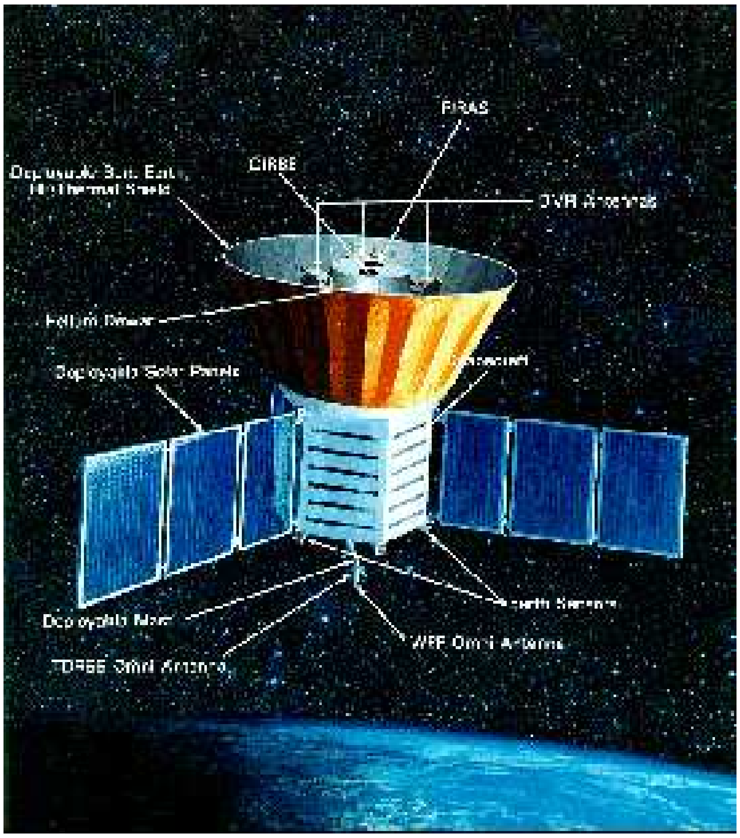

Figura 5: El COsmic Background Explorer, diseñado para el estudio de la radiación de fondo.

2.2 El Cosmic Background Explorer (COBE)

El satélite se muestra en la Figura 5, donde se muestran sus distintos detectores, el sistema de protección térmica, los páneles solar para adquirir la energía necesaria para operar y las antenas de comunicación con Tierra.

Los tres instrumentos a bordo de COBE fueron diseñados cada uno para un propósito específico:

- **DIRBE**, por Diffuse Infrared Background Experiment, fue diseñado para buscar radiación infrarroja de objetos espcíficos, como el (povo del) sistema estrellas, la Vía Láctea y otra galaxias.
- **DMR**, por Differential Microwave Radiometer, fue diseñado para comparar directamente el fondo de microondas en dos direcciones del cielo y asi establecer las variaciones del fondo de microondas con la posición del

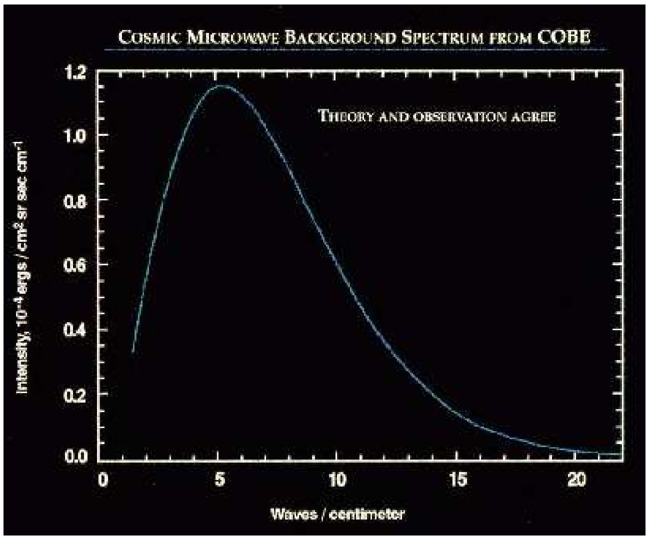

Figura 6: Espectro de la radiación de fondo medido por el instrumento FIRAS. Los datos medidos concuerdan perfectamemte con la radiación de un cuerpo negro a 2.73° K.

cielo, es decir su estructura. Primero se generan mapas en distintas frecuencias para poder restar la emisión de la Vía Láctea. Queda entonces un mapa dominado por la *anisotropía de dipolo*, que muestra el corrimiento hacia el azul y hacia el rojo de la radiación de fondo debido al movimiento de la Galaxia con respecto a dicho fondo de radiación (Figura 7). Las diferencias en temperatura de 3 milésimos de grados corresponden a una velocidad de 300 kilómetros por segundo. Cuando esta componente es removida de los mapas, se obtiene el segundo mapa de la Figura 7, donde las diferencias

- **FIRAS** por Far Infrared Absolute Spectrometer. Diseñado para estudiar el *espectro* de la radiación de fondo. FIRAS estableció que la temperatura del fondo de radiación corresponde a 2.73 ± 0.06 °K, ajustandose el espectro perfectamente (dentro de las pequeñas incertidumbres experimentales) al de un cuerpo negro. De hecho el fondo de microondas tiene el espectro medido mas parecido al de un cuerpo negro perfecto que conozcamos. Este se muestra en la Figura 6.

Los instrumentos FIRAS y DIRBE fueron instalados en un crióstato con 650 litros de helio líquido que los mantuvo a una temperatura cercana al cero absoluto (1.5°K) por diez meses.

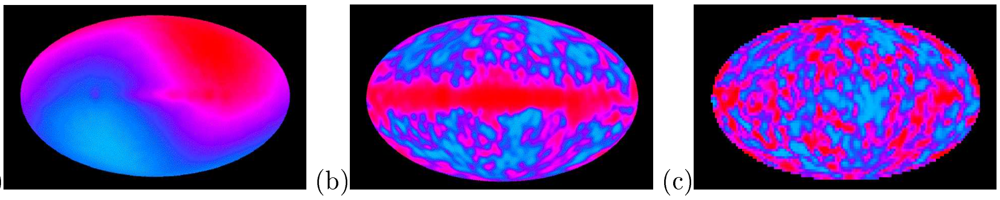

Figura 7: Mapas del fondo cósmico de radiación. Los mapas cubren todo el cielo y estan en coordenadas Galácticas -es decir la Vía Láctea queda horizontalmente en medio. Los colores diferencian las zonas "calientes" (en rojo) de las "frias" (azul), siendo las diferencias de milésimas de grados. (a) muestra la *anisotropía de dipolo*, con diferencias de 3 milésimas de grados; (b) muestra el mismo mapa con dicha anisotropía removida, siendo ahora diferencias de unas treinta millonésimas de grado. En este mapa se aprecia emisión residual de nuestra Galaxia; en (c) se ha removido los residuos debidos a la imprefecta substracción de la emisión Galáctica, quedando las variaciones debidas a "inhomogeneidades" formadas en el Universo temprano.

3 Astronomía de rayos X

3.1 Introdución

La astronomía de rayos X dió sus primeros pasos antes del desarrollo de satélites, gracias a observaciones realizadas con cohetes, con los cuales fue posible detectar rayos X del Sol en 1949 y la primera fuente celeste (Scorpius X-1) en 1962. En cierta forma estos descubrimientos tempranos indicaron el gran potencial de los rayos X para el estudio del cosmos.

El primer satélite diseñado especificamente para estudiar fuentes celeste fue el *Uhuru*, lanzado en 1970. *Uhuru* detectó poco mas de 300 fuentes de rayos X, mostrando que este tipo de emisión es común en sistemas de estrellas binarias y en cúmulos de galaxias. Los rayos X son emitidos por gas extremadamente caliente, a temperaturas de millones de grados. En algunas estrellas binarias ocurre que una estrella normal cede materia a una estrella compacta, ya sea una estrella de neutrones o un hoyo negro. Antes de caer en el objeto compacto este gas se calienta hasta alcanzar temperaturas extremas que originan la emisión de rayos X. En el caso de los cúmulos de galaxias, el descubrimiento de *Uhuru* evidenció la presencia de gas muy caliente, en algunos casos a decenas de millones de grados, y muy diluido disperso entre las galaxias de un cúmulo (Figura 10).

El satélite HEA0-2, rebautizado *Einstein* (Figura 9) después de su lanzamiento en 1978, fue el primero en emplear exitosamente el principio de incidencia razante, permitiendo enfocar rayos X hacia un punto. Como resultado de esta técnica es posible construir el equivalente a espejos de rayos X, permitiendo

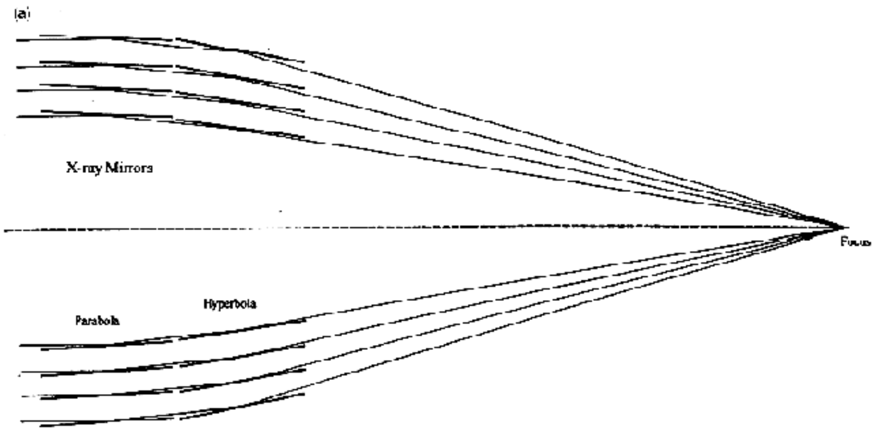

Figura 8: Ilustración del principio de la óptica de incidencia razante empleada en telescopios de rayos X.

Figura 9: El telescopio de rayos X *Einstein* antes de ser lanzado en órbita. Pueden apreciarse los extremos de los cilindros cocéntricos que forman el arreglo óptico.

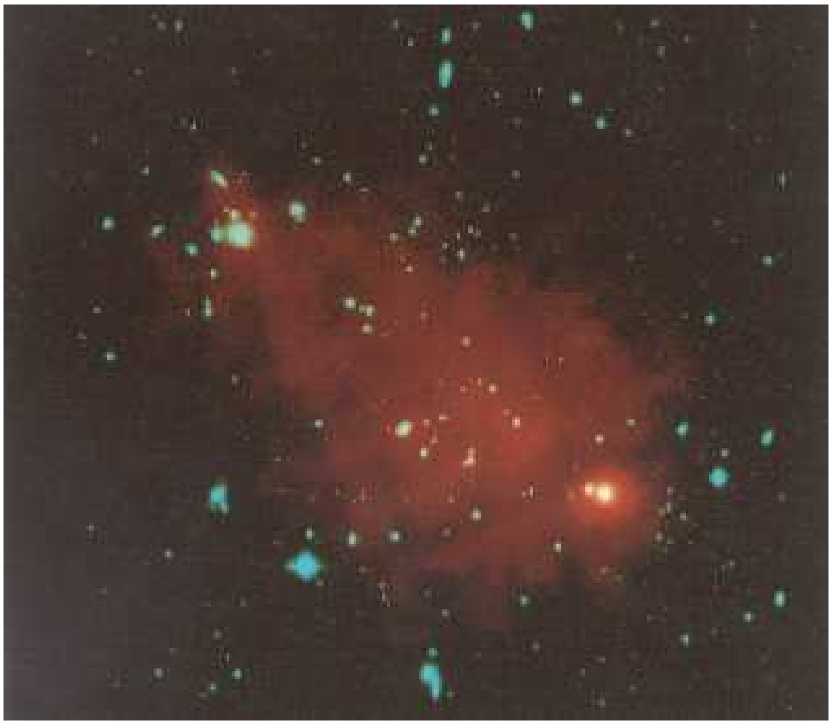

Figura 10: Emisión de rayos X del cúmulo de galaxias de Perseo -en rojo-, medida por el satélite *Einstein*, superpuesta a una imagen óptica.

imágenes de objetos extendidos y un aumento enorme en la sensitividad del telescopio. El principio detrás de estos telescopios es que los rayos X solo pueden ser desviados si inciden casi razantes a una superficie metálica. La combinación de dos conjuntos de cilindros cocéntricos, los primeros con forma ligeramente parabólica y los segundos con forma ligeramente hiperbólica, permiten enfocar un haz de rayos X a un punto, como se muestra en la Figura 8. Gracias a esta técnica *Einstein* descubrió emisión por parte de estrellas con alto nivel de actividad en su corona. Los remanentes de supernovas también fueron resultaron ser intensas fuentes de rayos X. Estos son los restos en expansión de estrellas que hace algunos miles de años explotaron. Las velocidades de expansión de estos remanentes son de varios miles de kilómetros por segundo. En el centro de algunos de estos remanentes se encuentra una estrella de neutrones en rotación -un pulsar- emitiendo rayos X en forma intensa.

El telescopio *Einstein* revolucionó la astronomía de rayos X. Sin embargo, los astrónomos carecian del conocimiento previo de qué objetos eran fuentes de rayos X -excepto por las escasas fuentes encontradas por *Uhuru*- y para apuntarlo debia adivinar si un objeto en particular emitiría rayos X, frecuentemente

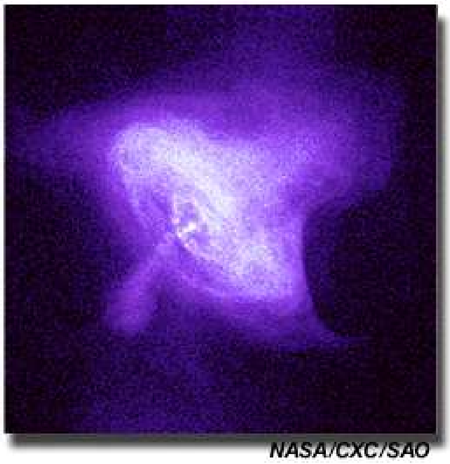

Figura 11: Imágenes de rayos X de la parte central de la nebulosa del Cangrejo, mostrando claramente al pulsar. La imagen de la izquierda es de ROSAT y la de la derecha es del observatorio *Chandra*.

sin éxito. Con este problema en mente fue diseñado el satélite alemán ROSAT (Roentgen-Satellit), capaz de realizar un mapa profundo de todo el cielo. Lanzado en junio de 1990, ROSAT dedicó los primeros seis meses de su misión a las observaciones del censo del cielo. En él detectó mas de 200,000 fuentes (comparado con 339 de *Uhuru*), muchas de las cuales se estudiaron en la siguiente fase de observaciones dedicadas a objetos individuales. Activo hasta hace unos pocos meses, ROSAT ha provisto a la comunidad astronómica mundial de una base de datos que tardará años en ser plenamente analizada.

El pasado 20 de junio fue lanzado el mas moderno telescopio de rayos X, el *Chandra* X-ray Observatory -previamente nombrado AXAF. Se trata, junto con el telescopio espacial *Hubble*, el Compton Gamma-Ray Observarory y STIRF, de uno de los cuatro "grandes observatorios espaciales", programa emprendido por la NASA la década pasada. El *Chandra* podrá estudiar muchas de las fuentes del catálogo de ROSAT con gran detalle. La óptica de este telescopio es tan precisa que sus imágenes son mejores que las de los telescopios ópticos, excepto por el *Hubble*. Las primeras imágenes -como la de la nebulosa y pulsar del Cangrejo mostrada en la Figura 11- ya estan en Internet y muestran la capacidad del telescopio, bautizado en honor del astrofísico indú Subrahmanyan Chandrasekhar.

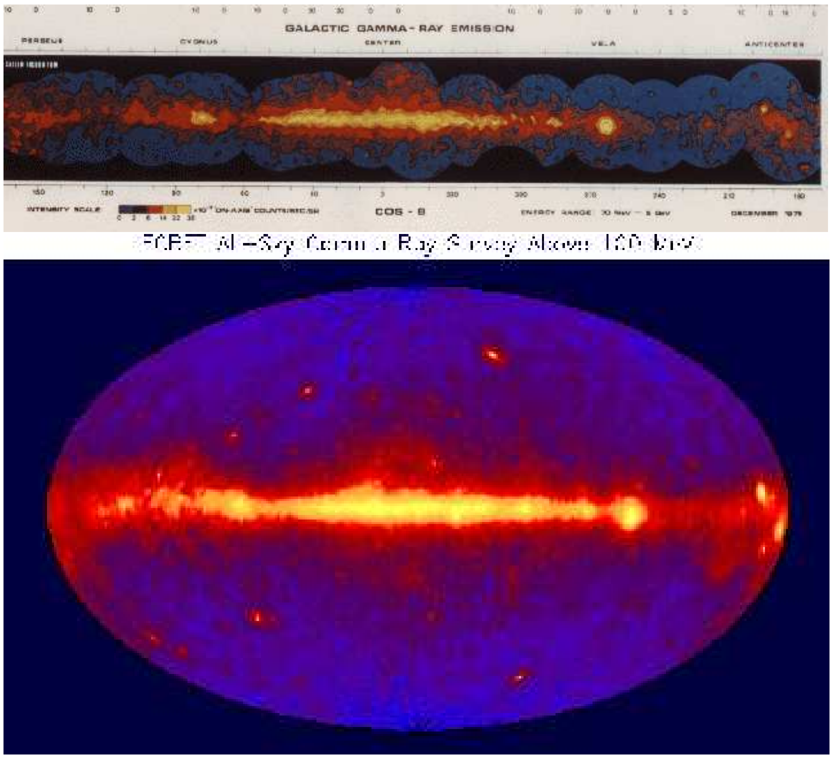

Figura 12: Mapa del cielo mostrando la emisión de rayos gamma de nuestra galaxia, observada por Cos-B (figura superior) y por EGRET (figura inferior).

4 Astronomía de rayos gamma

La detección de rayos γ es dificil. No solo por la alta penetración de esta radiación, sino también por los rayos cósmicos, partículas de muy alta energía -principalmente protones- que se permean el espacio. Los satélites sufren casi literalmente un intenso bombardeo por estas partículas, las cuales son dificiles de distinguir de los rayos γ o -peor aun- al chocar con materia -del mismo satélite- producen rayos γ. El satélite Cos-B operó de 1975 a 1982, detectando apenas 25 fuentes celestes de rayos gamma. Cos-B mostró que nuestra galaxia es una fuente de rayos γ (Figura 12) producidos por partículas energéticas -los llamados rayos cósmicos- que chocan con gas en el medio interestelar. El instrumento EGRET, a bordo del Compton Gamma-Ray Observatory (CGRO) a logrado producir un catálogo con 271 objetos, los cuales se muestran en la Figura 13. En el apéndice se anexa un artículo al respecto.

Por encima de 0.5 MeV hay dos diseños para los telescopios de rayos γ: los telescopios Compton que funcionan entre 0.7 y 30 MeV y las cámaras de

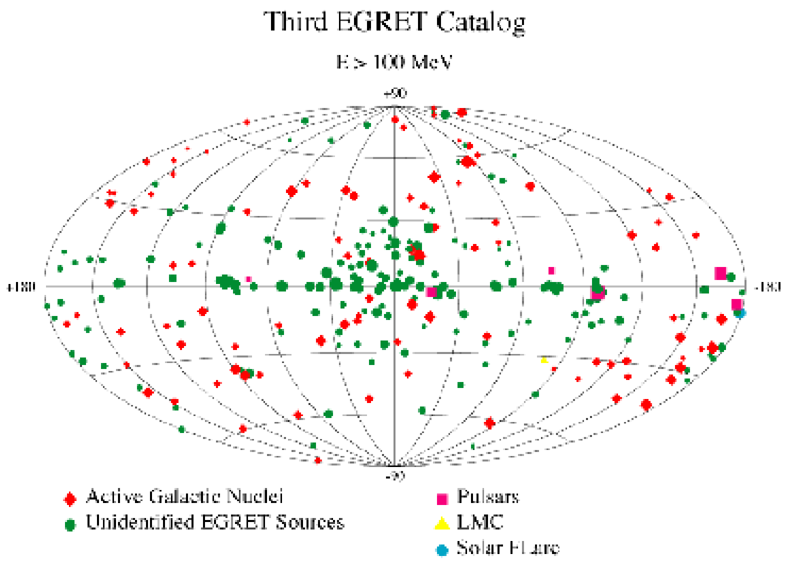

Figura 13: Mapa del cielo mostrando la posición de las 271 fuentes del catálogo de rayos γ elaborado por EGRET. Las fuentes identificadas corresponden con pulsares (en rosa) o cuasares (en rojo). La mayor parte de las fuentes celestes de rayos γ no han sido identificadas.

chispas que funcionan de 30 MeV en adelante. Los telescopios Compton se basan, como su nombre lo indica, en el efecto Compton que viene siendo la transferencia de energía de un rayo γ a un electrón. Estos telescopios tienen dos niveles de detectores: en el nivel superior sucede el efecto Compton y uno mide cuanta energía deposita el fotón, el cual es desviado y va a la capa inferiores de detectores, donde es absorbido. Combinando las mediciones posicionales y de energía en ambas niveles es posible reconstruir la trayectoria del fotón y estimar su energía. Los telescopios Compton son los que mas sufren por la presencia de rayos cósmicos en el ambiente espacial. COMPTEL, el único telescopio Compton puesto en órbita, a pesar de poder descartar 99.99% de los rayos cósmicos incidentes, solo puede distinguir unas decenas de objetos del cielo. En el mejor de los casos 20% de la señal proviene de la fuente bajo estudio mientras que el 80% son rayos γ producidos en el satélite.

EGRET es, al igual que sus predecesores SAS-II y Cos-B, una cámara de chispas. Se trata de un arreglo de placas metálicas con alto voltaje entre cada par, todo permeado por un gas inerte -en el caso de EGRET neón. Al penetrar un fotón en la cámara se produce un electrón y un positrón, cuyas trayectorias pueden ser rastreadas, indicando el origen y la energía del fotón orginal. EGRET ha descubierto que la emisión de rayos γ es común entre los pulsares, en los que el intenso campo magnético (billones de veces nayor que el terrestre) y la rápida rotación inducen voltajes capaces de acelerar electrones con una eficiencia miles de veces superior a la de los aceleradores de partículos creados por el hombre. Ademas de los pulsares, los cuasares resultaron ser fuentes de rayos γ, aunque en este caso los detalles del proceso de emisión son menos claros. Se cree que partículas subatómicas son aceleradas en haces de materia lanzada a velocidades cercanas a la de la luz por el núcleo del cuasar, y al chocar con materia crean los rayos γ detectados por EGRET.

La situación de la astronomía de rayos γ al comienzo del año 2000 es semejante a la de la astronomía de rayos X en 1973, tras el catálogo de *Uhuru*. En este momento se encuentra en desarrollo el telescopio GLAST, previsto para ser lanzado en el 2007, con el cual se espera dar un salto similar al que dió *Einstein* a la astronomía de rayos X. Esto lo veremos en el próximo siglo.

Apéndices

A1. El Universo en expansión: II. el fondo de radiación de microondas

En la década de los cincuentas los laboratorios Bell ya hacian estudios para trabajar en comunicaciones vía satélite. Con este fin desarrollaron equipos receptores capaces de captar señales de radio muy débiles y para ello se requería desarrollar instrumentos que tuvieran poco ruido ("estática"). Entre estos equipos novedosos estaba una antena en forma similar a la de un cuerno, aunque de sección rectangular, la cual fue empleada varios años para captar señales del satélite *Echo*. Posteriormente, cuando ya no fue requerida para mas pruebas, empezó a ser utilizada para trabajo astronómico. Con este instrumento Arno Penzias y Robert Wilson planeaban hacer mediciones de fuentes astronómicas de radio con muy alta precisión. Sin embargo, desde que se empleaba con el satélite *Echo*, la antena invariablemente media una señal mayor de lo esperado. Penzias y Wilson observaron que, mientras que parte de esta señal podía atribuirse a nuestra atmósfera y a la antena, mas de la mitad no era explicable y aparecía independiente de la dirección del cielo a la cual apuntara la antena. Sospechando que se pudiera tratar de un problema no considerado del instrumento, checaron todos los componentes posibles de la antena, incluso desalojando a un par de palomas que ya habian hecho nido en su interior, sin lograr deshacerse de la señal. Después de repetidos intentos, y sospechando que podía haber algún gato (cósmico) encerrado, decidieron ir a la Universidad de Princeton y discutir este asunto con el famoso y brillante físico Robert Dicke.

Dicke se dió cuenta de que Penzias y Wilson habían encontrado la débil radiación de fondo cósmico, vestigio del violento nacimiento del Universo. La primera predicción concreta de este fenómeno fue hecha en 1949 por Alpher y Herman quienes, siguiendo algunas ideas de George Gamow acerca del nacimiento del Universo, expuestas diez años antes, quien consideraba algunas consecuencias del posible nacimiento del Universo en una gran explosión. Al expanderse, el Universo se iría enfriando paulatinamente y, según los cálculos de Alpher y Herman, hoy en día, unos quince mil millones de años después de la explosión, la temperatura del Universo debería haber bajado hasta -268 grados centígrados, es decir cinco grados por encima del cero absoluto, la temperatura mas baja permitida por las leyes de la física. Desgraciadamente Alpher y Herman terminaron su artículo expresando dudas de que esta radiación primigenia pudiera habr sobrevivido hasta nuestra época y ser detectada. Ya sea por este o algún otro motivo, la predicción de un fondo cósmico de radiación de cinco grados fue mayormente olvidada y solo existía un grupo, encabezado por el propio Dicke, que estaba planeando una búsqueda específica de este fondo de radiación. ¡Cuál debió ser la sorpresa de Dicke cuando Arno Penzias y Robert Wilson le presentaron el descubrimiento fortuito del eco distante de la Gran Explosión!

Penzias y Wilson publicaron el descubrimiento del fondo de radiación de tres grados (la predicción de Alpher y Herman falló por dos) en un artículo con el modesto título de "Una medición de exceso de temperatura de antena a 4080 MHz", el cual apareció en la revista "Astrophysical Journal" acompañado de un trabajo de Dicke y dos colaboradores explicando el profundo significado de este hallazgo. Trece años después, Penzias y Wilson recibieron el premio Nobel de física. Con el tiempo pudo saberse que la fortuna ya había rondado a algunos grupos anteriormente: un jápones llamado Hauro Tanaka y un par de canadienses habian ya detectado esta señal, pero de forma tan marginal que no era posible establecer el resultado. También fue posible explicar unas observaciones de moléculas de cianógeno hechas en 1940 por Andrew McKellar las cuales requerián de una fuente de energía a 2.7 grados sobre el cero absoluto. Al desconocerse esta fuente, que resultó ser el Universo como un todo, los resultados de McKellar habían sido fuertemente rechazados por varios científicos (y olvidados por muchos mas). Dicke, quién murió este año después de haber sido rondado él también por el Nobel, jugó un papel importante en prevenir que este resultado pasara desapercibido, al proveer una explicación acompañante.

El descubrimiento el fondo cósmico de radiación inclinó el debate de aquél entonces entre las dos teorías cosmológicas mas plausibles: la de la Gran Explosión y la del estado estacionario, la cual postulaba la creación continua y espontánea de materia. Mientras que en esta última debía buscarse como acomodar la presencia del fondo cósmico, en la primera el fondo cósmico es manifestación directa de la Gran Explosión. Aun cuando algunos partidarios de la teoría del estado estacionario no se han rendido, el descubrimiento de Penzias y Wilson es considerado como la prueba mas clara de que vivimos en un Universo en expansión originado en una explosión colosal. Existe otra evidencia importante que es la abundancia de helio observada en el Universo, la cual puede explicarse al considerar las reacciones nucleares que se dieron cuando el Universo en su totalidad se hallaba a miles de millones de grados. Esto, instantes después de la Gran Explosión que quince mil millones de años después todavía es posible escuchar.

Esperanza Carrasco & Alberto Carramiñana
Diario Síntesis, 2 de diciembre de 1997

A2. Las fuentes celestes de rayos gamma

La astronomía del siglo XX ha avanzado en buena medida por el estudio de radiaciones distintas de la luz visible, como son las ondas de radio, las microondas, la luz infrarroja y ultravioleta, y los rayos X y gamma. Todos estos tipos de radiación tienen la misma naturaleza física que la luz, siendo las distintas manifestaciones de la ondas electromagnéticas. Algunas de estas radiaciones -como los rayos X y los rayos gamma-son absorbidas por la atmósfera terrestre y su estudio sólo pudo iniciarse con el desarrollo de satélites astronómicos. En la década de los setentas satélites como UHURU y Einstein hicieron los descubrimientos que permitieron saber como es el Universo a la luz de los rayos X. Mas recientemente, el satélite Alemán ROSAT ha permitido estudiar cientos de miles de fuentes de rayos X. Mas díficil ha sido encontrar las fuentes astronómicas de rayos gamma y apenas en los últimos cinco años hemos descubiertos las fuentes celestes mas brillantes.

Los rayos gamma son el tipo de radiación mas energético, descubiertos a principios de siglo como emisiones de substancias radiactivas. Al igual que la luz, los rayos gamma están constituidos por fotones, "partículas de luz", con la diferencia de que un fotón gamma tiene mas de un millón, incluso miles de millones, de veces mas energía que un fotón de luz visible. Por su alta energía estos fotones atraviesan placas de plomo y para generarlos en la Tierra requerimos aceleradores de partículas subatómicas: una vez aceleradas, estas partículas pueden producir rayos gamma al chocar con otras partículas que sirven de blanco. En forma análoga, las fuentes celestes de rayos gamma deben acelerar partículas subatómicas y hacerlas incidir sobre un blanco. Una alternativa es que las partículas aceleradas emitan rayos gamma en presencia de un campo electromagnético. En cualquier caso, la emisión de rayos gamma obedece a procesos distintos que los que se requieren para emitir luz visible.

El primer catálogo de fuentes de rayos gamma provino de las observaciones del satélite Europeo COS-B que estuvo funcionando entre 1975 y 1982. Este catálogo contiene apenas 25 fuentes, de las cuales sólo tres estaban identificadas. Pasó casi una década antes de que se pusiera en órbita la segunda generación de telescopios de este tipo. El instrumento EGRET (acrónimo de Energetic Gamma-Ray Experiment Telescope) empezó a hacer observaciones en 1992 y, al acercarse el final de su vida útil, el equipo científico a cargo de este telescopio acaba de hacer pública la tercera versión, seguramente la definitiva, de las fuentes detectadas. Este catálogo contiene 271 fuentes celestes y el estudio detallado de los datos disponibles y de estas fuentes con otros telescopios será tópico de interés en la comunidad astronómica por varios años. Se tienen identificados cuatro tipos de fuentes celestes de rayos gamma: las galaxias normales (la nuestra y la Gran Nube de Magallanes), los pulsares, los cuasares y las fuentes no identificadas, las cuales son la mayoría (170 de las 271).

Los pulsares son estrellas con poderosos campos magnéticos girando sobre su eje varias veces por segundo, lo cual los convierte en poderosos aceleradores de partículas, capaces de inferir, a las partículas subatómicas, decenas de miles de veces mas energía que los aceleradores terrestres. En este ambiente las partículas aceleradas no tienen problema en emitir rayos gamma. En el caso de nuestra galaxia creemos tener bien identificados los ingredientes: las explosiones de supernova aceleran partículas subatómicas y éstas al atravesar gas y polvo generan rayos gamma. Si bien este mecanismo debe funcionar en otras galaxias, EGRET no es todavia lo suficientemente sensitivo para detectar galaxias cercanas como la de Andrómeda. En el caso de los cuasares es mas incierto como se da la aceleracion de partículas y la subsecuente emisión de rayos gamma. Se ha notado que los cuasares que emiten rayos gamma también tienen una fuerte emisión de radio, debida a electrones de alta energía, y hay evidencias de chorros de materia moviéndose a altísimas velocidades. Los modelos mas populares se basan en la idea de que la fuente de energía de los cuasares es un gigantesco hoyo negro devorando materia a razón de una masa solar por año.

Tal vez mas interesante es la laboriosa tarea de identificar las fuentes no identificadas. El concenso es que en muchos casos debe tratarse de mas de lo mismo: cuasares o pulsares, aunque con la peculiaridad de no ser fuentes brillantes de radio. Esto ya los hace objetos distintos a los pulsares y cuasares previamente conocidos. Sin embargo, es muy probable que dentro de este catálogo se encuentre también algún nuevo tipo de objeto de naturaleza insospechada. astronómico.
Esperanza Carrasco & Alberto Carramiñana
Diario Síntesis, 8 de diciembre de 1998