

An overview on the quasar redshifts

Williams Pitter¹, Zoraida Morantes^{2,3}, Antonio Aguillón¹
Romer Urdaneta³ y Angel Ochoa²

¹Universidad del Zulia, Facultad de Ciencias, Dpto. de Física. E-mail:wprieto@luz.ve.

²Universidad del Zulia, Post-grado de Ingeniería

³Universidad Rafael Bellosó Chacín, Facultad de Ingeniería
Maracaibo, Zulia, Venezuela.

Abstract

An overview of the foundations of modern cosmology as well as the controversies about physical associations between high-red shift quasi-stellar objects and low-red shift galaxies are presented. This kind of evidence challenges the current velocity-distance relation.

Key words: Quasar, general relativity, cosmology.

Revisión sobre el corrimiento al rojo de los cuasares

Resumen

En este trabajo se presentan los elementos fundamentales que contribuyeron a configurar la imagen moderna del universo. También se presentan y se discuten las controversias generadas por cierta clase de evidencias astronómicas que muestran una asociación física entre cuasares de alto corrimiento al rojo y galaxias de bajo corrimiento al rojo, desafiando así la interpretación tradicional de velocidad-distancia.

Palabras claves: Cuasar, relatividad general, cosmología.

Fundamentos de la Cosmología Moderna

La imagen moderna del universo se remonta tan sólo a 1925, cuando el astrónomo norteamericano Edwin Hubble [1-3] demostró que existían otros sistemas galácticos y que nuestra galaxia no era la única. En los años que siguieron al descubrimiento de la existencia de otras galaxias, Hubble dedicó su tiempo a catalogar las distancias y a observar los espectros de las galaxias. Hubble se vio forzado, por lo tanto, a usar métodos indirectos para medir esas distancias. Para determinar la velocidad de recesión de los objetos estelares se miden los corrimientos hacia el rojo de sus líneas espectrales a partir de las cuales es posible calcular la distancia a la que se encuentran situados [4-7].

En aquella época, la mayor parte de la gente pensaba que las galaxias se moverían de forma bastante aleatoria, por lo que se esperaba encontrar tantos espectros con corrimiento hacia el azul como hacia el rojo. Fue una sorpresa absoluta, encontrar que la mayoría de las galaxias presentaban un corrimiento hacia el rojo, es decir, casi todas se estaban alejando de nosotros. Incluso más sorprendente aún fue el hallazgo que Hubble [4] publicó en 1929, en donde mostró que ni siquiera el corrimiento de las galaxias hacia el rojo era aleatorio, sino que es directamente proporcional a la distancia que nos separa de ellas, dicho en otras palabras, cuanto más lejos está una galaxia, a mayor velocidad se aleja de nosotros. Esto significaba que el universo no podía ser estático, como todo el mundo había pensado antes, sino que de hecho se

estaba expandiendo. La distancia entre las diferentes galaxias estaba aumentando continuamente.

El artículo publicado por Hubble y Humason [7] en 1931 ("The velocity-distancia relation among extragalactic nebulae") fue la piedra angular que permitió echar las bases de la cosmología moderna. La comparación realizada por ellos establece que las galaxias se mueven alejándose de nosotros con velocidades proporcionales a sus distancias de la tierra, donde la constante de proporcionalidad llegó a ser conocida como la constante de Hubble.

La constante de Hubble, H , el factor de conversión entre las velocidades de recesión de las galaxias y sus respectivas distancias, es el único parámetro fundamental de la Cosmología que los astrónomos conocen dentro de un factor de dos. Ello puede ser explicado en los siguientes términos. En la década de los '70 se pensaba que H estaba alrededor de 50 Km/seg. por megaparsec, pero en la siguiente década la magnitud de H se situaba entre 80 y 90 Km/seg-Mpc. Hacia 1992 tres investigaciones [8-10], basadas en la observación de supernovas, llevaron a la constante de Hubble de nuevo a sus valores primitivos de 50-60 Km/seg-Mpc.

La determinación del verdadero valor de H es crucial para determinar no sólo las distancias extragalácticas sino también la edad misma del universo, con todo lo que ello implica. En Julio de 1994, en el marco del Seventh Marcel Grossmann Meeting on General Relativity realizado en Stanford University, el célebre astrónomo Alan Sandage expresó a su audiencia que actualmente se están llevando a cabo observaciones, con el mayor nivel de precisión jamás logrado, con la idea de usar las supernovas como calibradores de distancias. Según él, estas experiencias permitirán determinar definitivamente la magnitud de tal constante en un plazo no mayor de tres años [11].

De manera pues que las observaciones de Hubble, y todas las que le siguieron, sugerían que en un pasado lejano la distancia entre galaxias vecinas debió haber sido cero; en que el universo era infinitésimamente pequeño e infinitamente denso. Ello implicaba que el universo podría haber tenido una singularidad, a partir de la cual ocurrió una gran explosión al expan-

dirse súbitamente éste punto, dando origen al universo. Estas suposiciones, junto con la teoría de la Relatividad General de Einstein, (que es la teoría dinámica que explica aquella singularidad) constituyen la doctrina fundamental llamada Teoría del Big Bang [12].

Así, los estudios de la formación, estructura y evolución del universo, realizados hasta ahora por la cosmología, sientan sus bases en dos notables descubrimientos. El primero, que ya discutimos sucintamente, es el de los objetos cuyos espectros ópticos presentan un corrimiento de las líneas espectrales hacia el rojo. El segundo es el de la radiación cósmica de fondo descubierta en 1965 por Penzias y Wilson [13], durante la búsqueda de fuentes de ruido que estaban interfiriendo en los sistemas de comunicación. Estos ruidos de origen cósmico fueron interpretados, e inmediatamente aceptados, como los remanentes de la caliente radiación electromagnética que dominó el universo en su primera etapa. A ésta radiación se le llamó radiación de cuerpo negro de 3°K, por presentar las características espectrales de un cuerpo negro o emisor perfecto de radiación, cuya temperatura fuese de unos 3°K. Esta radiación no es solamente la señal más antigua detectada, sino también es la más distante, puesto que proviene de los confines del universo, más allá de los cuasares, los cuales son considerados las fuentes luminosas más remotas.

El apoyo observacional de la cosmología del Big Bang proviene esencialmente del espectro e isotropía de la radiación cósmica de fondo [14-16] y en la medición de abundancias de deuterio predichos por la nucleosíntesis del Big Bang [17-22]. Recientemente se ha llegado a pensar que la medición de esos elementos en nubes primordiales con elevados corrimientos al rojo y a grandes distancias podría llegar a convertirse en un nuevo test del llamado principio cosmológico [23].

Sobre el Descubrimiento de los Cuasares

Los cuasares fueron descubiertos gracias a las ondas de radio que emiten. Se deduce que deben ser fuentes de cantidades enormes de energía, ya que a pesar de encontrarse, aparen-

temente, muy lejos de nosotros en el espacio, sus ondas de radio y su luz son todavía visibles por nosotros. Desde su descubrimiento se les consideró un tipo totalmente nuevo de astro, comparable más bien con una galaxia, pero con mayor potencia de emisión. Fueron llamados inicialmente radio fuentes Casi-Estelares, ya que al observarse a través de un telescopio aparecen como puntos, y a simple vista no pueden distinguirse de las estrellas de nuestra galaxia.

La primera radiofuente, la 3C 273, identificada como un cuasar se debe a M. Schmidt [24], quien calculó que éste se encontraba a tres billones de años-luz de la Tierra. El espectro de las líneas de emisión estaba corrido al rojo en una cantidad $Z = 0.16$, colocando el cuasar 3C 273 como el objeto estelar más lejano y luminoso jamás observado. Posteriores observaciones registraron muchos otros cuasares mucho más brillantes y lejanos que el cuasar 3C 273.

El advenimiento de satélites para la observación espacial y el reciente lanzamiento del telescopio espacial Hubble han incrementado grandemente el registro de miles de cuasares. Para tener una idea de esto, nótese que el primer catálogo de cuasares publicado en 1971 por DeVeney y colaboradores [25] contenía solamente 202 cuasares y el último reporte del European Southern Observatory [26], publicado en 1993, contiene 7383 cuasares. Allí están registrados tres cuasares con $Z > 4$, siendo el cuasar BR 0019-15 el de mayor corrimiento con $Z = 4.52$. Recientemente, G. McMahon [27], en 1994, reportó cinco cuasares con $Z > 4$, ostentando el record del cuasar BR 1202-0775 con $Z = 4.69$.

Las propiedades y estructuras de los cuasares son bosquejadas a continuación. Los estudios de los espectros de los Cuasares revelan que poseen líneas de emisión extremadamente anchas, que a su vez están muy corridas al rojo. Por lo general tienen una magnitud absoluta $M < 23$ con luminosidades típicas del orden de 10^{47} erg/seg. Cerca del 10% de los cuasares son radiofuentes y la gran mayoría fuentes débiles de rayos X [28].

Según la cosmología moderna la estructura de un cuasar es semejante a la de un agujero negro rodeado de un disco turbulento de plasma de gran grosor óptico y con una región interna dominada por procesos Compton. Los astrofisi-

cos han llegado a un acuerdo general de que la fuente de energía del cuasar es un proceso de acreción de materia a un agujero negro con una masa calculada de 10^8 a 10^{10} masas solares [29]. Existen otras categorías de modelos menos estudiados como aquellos que consideran a los cuasares como estrellas masivas [30] o como un cluster denso de estrellas [31-35]. Existe todavía otra hipótesis que los considera como objetos eyectados de los núcleos galácticos [36], pero que ha sido rechazada por no encontrarse cuasares con corrimiento al azul.

En un principio, los astrónomos estuvieron conscientes que la explicación de la fuente de energía podría ser dada en términos de los procesos de conversión de energía conocidos, si tan sólo los cuasares estuvieran más cercanos que lo que indican sus corrimientos hacia el rojo. Sin embargo, los conocidos principios físicos que eran usados para calcular el corrimiento hacia el rojo intrínseco, por ejemplo el corrimiento hacia el rojo gravitacional derivado de la Relatividad General, no funcionaba satisfactoriamente.

En efecto, al descubrirse los grandes corrimientos hacia el rojo en las líneas espectrales de los cuasares se atribuyó al corrimiento hacia el rojo gravitacional de un objeto compacto como una estrella neutrónica. Pero E. Salpeter [37] demostró que los corrimientos hacia el rojo observados en los cuasares, para esa época, excedían al valor máximo del corrimiento hacia el rojo gravitacional para una estrella neutrónica típica que se estimaba en $Z \sim 0.1$. Como un resultado de estas investigaciones los astrónomos retuvieron la idea inicial que el corrimiento hacia el rojo de los cuasares indicaban grandes distancias, despachando así la conexión entre estrellas neutrónicas y cuasares [38]. Y todavía se piensa que sus corrimientos indican que están mas allá de cualquier galaxia visible y cientos de veces más luminosos que toda una galaxia.

Las Controversias

En la parte final de la década de los sesenta comenzaron a aparecer una serie de trabajos que cuestionaban la interpretación corrimiento al rojo-distancia tradicional. G. Burbidge [39], por ejemplo, opinaba de que no existían argumentos

confiables en favor de la cercanía de los cuasares. El sostiene, y con cierta razón, que existe una seria dificultad en comprender como un enorme flujo de radiación sincrotrónica puede salir y ser mantenido en un estrecho haz como lo indicaban las emisiones. Según Burbidge, las sugerencias de que el bulk de radiación proveniente de los cuasares fueran de naturaleza intrínseca eran básicamente indirectas. Más exactamente, G. Burbidge cree que los cuasares tienen un componente cosmológico en sus corrimientos, con todo es el componente intrínseco el más dominante [39].

La evidencia directa apareció en 1967 cuando H. Arp [40] produjo una conmoción en el escenario científico al suministrar evidencia observacional que sugería que las componentes no cosmológicas del corrimiento hacia el rojo son dominantes en muchas galaxias dentro del supercluster local.

En 1971 E. Burbidge y colaboradores [41] mostraron con dos muestras bien definidas de cuasar-galaxia que tal asociación era correcta. Este reporte fue confirmado en 1974 por Kipphan and De Vries [42].

Sin embargo el primer artículo que muestra una posible asociación entre galaxias de bajo corrimiento al rojo con cuasares de alto corrimiento al rojo no es debido a Arp, sino a D. Lindell-Bell [43] en 1966. Un par de años después, Arp [44] publica un trabajo en el cual analiza el hallazgo de Lindell-Bell. Es en 1971 cuando Arp [45] publica su famoso artículo sobre paradojas en objetos extragalácticos mostrando las mencionadas conexiones.

En la década de los 70 las publicaciones de Arp y Burbidge, mostrando una creciente muestra de asociación física entre cuasares con galaxias de bajo corrimiento, continuaron desafiando la tradicional interpretación velocidad-distancia para los elevados corrimientos al rojo de las líneas de emisión de los cuasares [46-48]. En 1973 aparece un libro que compila todas las controversias surgidas alrededor de este asunto [49].

La idea central de estas discusiones giraban en torno al cálculo de probabilidad de que la conexión cuasar-galaxia fuera debido al azar. Por ejemplo, Arp [50] mostró que para cierto número de galaxias, que tenían en sus proximidades un cuasar, la probabilidad de que ello fuera un producto del azar era del orden entre 10^{-6} y 10^{-14} . Esto por supuesto significaba una marcada tendencia de que la asociación fuera verdaderamente real.

En 1979 Arp y Sulentic [51] informaron sobre tres cuasares agrupados en torno a la galaxia NGC 1073. En el siguiente año, D. Weedman [52] muestra que los análisis estadísticos de Arp no son del todo confiables; descartando de esa manera la sugerencia de una conexión física entre cuasares y galaxias. Pero Sulentic [53] replica mostrando que efectivamente existe una asociación entre cuasares y galaxias como se venía publicando desde 1966 [43].

En 1982 aparecen dos artículos claves que discuten estos aspectos estadísticos. Uno de ellos de I. Browne [54], que discute los pro y los contra de los diferentes cálculos estadísticos. El otro, de A. Webster [55], es realmente interesante porque, aparte de atacar fuertemente la estadística de la asociación cuasar-galaxia, llegó a ser aceptado como la respuesta correcta en contra de las suposiciones de Arp y compañía. En 1983, Arp [56] escribe un artículo refutando el análisis de Webster, señalando sus supuestos errores.

En ese mismo año de 1983, dos investigadores [57], independientes de las ideas de Arp, reportan un análisis sobre las evidencias astronómicas de asociación cuasar-galaxia, mostrando en su trabajo que existe una real conexión entre galaxias y cuasares con corrimientos discordantes. Alrededor de esa época otras dos publicaciones confirman el vínculo entre cuasares y galaxias [58,59]. Arp [60] insiste en que sus argumentos estadísticos son correctos al confirmar resultados previos con una metodología diferente. En 1984 Arp y sus colaboradores reportan evidencias astronómicas en las que muestran y discuten la asociación entre NGC 3842 y tres cuasares recién descubiertos [61] y otra asociación entre NGC 470 y un par de cuasares [62].

Otro hecho interesante, que no podemos pasar por alto, es la discusión sobre la tendencia de los cuasares a presentarse en pares. Fue tan pronto como en 1970 cuando el mismo Arp [46] presentó este extraño caso. G. Burbidge y colaboradores [63], por ejemplo, discutieron la pro-

babilidad de observar accidentalmente pares de cuasares con corrimientos al rojo discordantes.

Otro fenómeno observacional sacado a la luz en 1971 por Arp [45] lo constituye galaxias vecinas con muy distintos corrimientos al rojo. Véase por ejemplo el artículo de Sulentic y Arp [64] (y referencias allí citadas) donde se presentan galaxias con grandes corrimientos al rojo rodeadas de galaxias compañeras de diferente corrimiento, cuando según la hipótesis cosmológica deberían tener al menos corrimientos muy similares.

Con la intención de completar este panorama es pertinente hacer mención de otras publicaciones sobre estos mismos asuntos. A partir del año 1971 también surgió una avalancha de reportes defendiendo la asociación cuasar-galaxia en el sentido cosmológico tradicional. Por ejemplo, J. Gun [65], L. Robinson y E. Sampler [66] localizaron unas pocas galaxias situadas cerca del cuasar PKS 2251+11, de las cuales, por lo menos una tenía un corrimiento al rojo muy similar a éste cuasar. Se esgrimieron argumentos del tipo estadístico que demostraban que era muy baja la probabilidad de que tales asociaciones se hayan formado de manera accidental. Este resultado fue publicado como una posible evidencia de que los corrimientos al rojo eran de origen cosmológico.

Muchos otros casos similares fueron encontrados pero que interpretaban la asociación cuasar-galaxia sin ninguna conexión física y que sus respectivos corrimientos eran de naturaleza cosmológica [67]. Posteriores reportes fueron más evidentes en cuanto a la significación estadística de éstas asociaciones. En uno de esos trabajos, el de A. Oemler y colaboradores [68], se localizó una galaxia que tiene el mismo corrimiento al rojo del cuasar 3C 273, con una separación entre ellos de 45" de arco.

De los resultados obtenidos de un estudio general, realizados R. Bogart y R. Wagoner [69], M. Seldner y P. Peebles [70] (y muchos otros con ellos), sobre muestras de cuasares y galaxias con el objetivo de correlacionar las respectivas posiciones de estos objetos, se concluyó que los cuasares están algunas veces asociados (pero no en el sentido físico) con pequeños grupos de galaxias, y que en todo caso los desplazamientos espectrales al rojo seguían siendo cosmológicos.

Sin embargo, G. Burbidge [71], quien examinó las mismas evidencias anteriores, escribió un review para Nature en 1979 argumentando que gran parte del corrimiento de los cuasares pueden ser analizados como teniendo un origen intrínseco dominante.

La década de los setenta fue pródiga en el hallazgo de asociaciones de cuasar-galaxia cuyos respectivos corrimientos eran interpretados de la manera tradicional. Por ejemplo, los trabajos de J. Bolton y colaboradores [72] y del grupo de D. Walsh [73] son bastante representativos de esa época.

Una compilación de los trabajos realizados en ésta controvertida área hasta 1981 fue realizado por G. Burbidge [74], y los que abarcan hasta el año 1987 fueron recopilados por Arp [75]. Todos los detalles concernientes a las controversias generadas por la interpretación de la naturaleza del corrimiento al rojo de los cuasares pueden ser encontradas en las mencionadas compilaciones.

En 1988 las investigaciones arrojaron un número creciente de cuasares conectados con galaxias de pequeño corrimiento hacia el rojo, siempre interpretadas cosmológicamente [76-78].

Pero justo en 1988 surgió una dificultad adicional con respecto a las asociaciones cuasar-galaxias, introduciendo además un nuevo elemento en esta discusión: el efecto lente gravitacional. Ese año R. Webster y colaboradores [79] reportaron un extraordinario alineamiento estadístico entre galaxias de bajo corrimiento hacia el rojo y cuasares con grandes desplazamientos hacia el rojo. Ellos interpretan sus observaciones en el contexto del efecto lente gravitacional, es decir, que las imágenes de los cuasares experimentan una amplificación cuando ellos son vistos a través de las galaxias precedentes, o cúmulos de galaxias a lo largo de la línea de visión entre nosotros y el cuasar. Con todo, no dan una respuesta satisfactoria al porqué del alineamiento preferencial entre algunas galaxias cercanas y cuasares presumiblemente más lejanos. (Desde el descubrimiento del primer cuasar afectado por un lente gravitacional, realizado por D. Walsh y colaboradores [80] en 1979, se han encontrado un número importante de cuasares afectados por lentes gravitacionales,

y pares físicamente asociados con una separación de menos de 10" de arco [26]. Arp [81] también encontró pares de cuasares, que según su interpretación, están físicamente relacionados).

Poco tiempo después, C. Hogan y sus colaboradores [82] escribieron a la revista **Nature** con el objeto de explicar que las suposiciones del grupo Webster con relación al efecto lente gravitacional, son inconsistentes con nuestra presente comprensión de las galaxias; debido a que los alineamientos sugieren que sus masas asociadas son más grandes que las que han sido previamente estimadas. (Otros autores también han señalado que las asociaciones de cuasares-galaxias no pueden ser explicadas por el efecto lente gravitacional [83]).

La réplica del grupo de Webster [84] apareció en el mismo número donde se publicaron las objeciones de Hogan y colaboradores. Webster y su grupo concordaron con las conclusiones del grupo de Hogan, y refirieron que estaban en proceso de aumentar la magnitud de la muestra de las asociaciones cuasar-galaxias. Webster y sus colaboradores creían que la información proveniente de esa data mejoraría grandemente sus estimaciones de la magnitud del efecto y de allí de la masa requerida para la magnificación gravitacional.

Una simple revisión de la literatura publicada desde 1989 hasta la fecha muestra que la interpretación de cuasares afectados por lentes gravitacionales es el elemento dominante en esos trabajos. Ello a pesar de las objeciones del grupo de Hogan. Justo en ese mismo año, Narlikar [85] revisó las evidencias a favor y en contra de la hipótesis cosmológica. Entre las evidencias en contra, que es justo el punto bajo examen, podemos mencionar que cierta data observacional discordante provenientes de cuasares y asociaciones cuasar-galaxia sugerían, según Narlikar, que algunos objetos poseían corrimientos al rojo no cosmológicos. Consideró además, una variedad de hipótesis no cosmológicas (local Doppler effect, variable-mass hypothesis, etc.), si bien interesantes, no del todo completas ni satisfactorias, para dar cuenta de esas anomalías.

Una de las asociaciones cuasar-galaxia más impactantes fue reportada por Carilli y

colaboradores [86] en ese año de 1989. Estos investigadores reexaminaron el par 3C232 y NGC 3067, en donde se había encontrado por primera vez absorción por Ca II en el espectro del cuasar. Ello fue interpretado de la manera tradicional: las líneas del cuasar se deben al gas asociado de las galaxias distribuidas a lo largo de la nuestra línea de visión, y por lo tanto que los corrimientos al rojo seguían siendo de naturaleza cosmológica.

Sin embargo, el grupo de Carilli reporta que la gran mayoría de los sistemas con líneas de absorción con bajo corrimientos surgen en extensas nubes de gases asociadas con las galaxias con las cuales interactúan. El elemento clave para sostener esta sugerencia radica en el hecho que todos los sistemas conocidos con absorción de gases de Ca II, muestran evidencias en donde está presente el fenómeno de la interacción física.

Este asunto parece tan cierto que investigadores como Peebles *et al* [87], un sostenedor de la cosmología tradicional, consideran que ello podía ser una real sugerencia de una asociación física entre objetos de bajo corrimientos con objetos de altos corrimientos, dando lugar por supuesto, a la idea que estén presente grandes corrimientos de naturaleza no cosmológica. Este sorprendente par de 3C232 y NGC 3067 aparecen como parte de un extenso catálogo dedicado a las asociaciones entre cuasares y galaxias publicado a finales de 1990 por G. Burbidge y colaboradores [88]. Por ejemplo, este artículo reporta 28 cuasares asociados con 42 galaxias con los mismos corrimientos. Además este grupo discutió algunas posibles explicaciones teóricas, ya previa y extensamente tratadas por Narlikar [85].

Examinando estas anomalías, Herrera [89] consideró la posibilidad que pudieran al efecto existir corrimientos al rojo intrínsecos en esos sistemas. Tales desplazamientos, conjeturó, serían el resultado de la aparición y subsecuente expulsión de solitones no topológicos a partir de núcleos galácticos. Esta conjetura está basada en la propiedad de los campos del tipo de Higgs para modificar la masa de las partículas y en ciertas propiedades de estrellas de solitones. A la verdad, esta propuesta resulta interesante en tanto que permitiría abordar el problema de los

corrimientos al rojo intrínsecos sin tener que recurrir a una nueva física; proporcionando de paso una fundamentación a la propuesta de Narlikar de aplicar la teoría de la gravedad conforme. Herrera, además señala que la posibilidad de la cuantización de los corrimientos al rojo podrían ser tratados en el marco de esa conjetura. Las dificultades que esta propuesta presenta radican básicamente en las incertidumbres de la teoría de campos de Higgs misma y en la determinación precisa, si tal cosa fuera cierta, de tales cuantizaciones.

A continuación examinaremos un par de artículos de extraordinaria importancia, no sólo por lo que encuentran y discuten sino también porque los investigadores no pertenecen al grupo de Arp y Burbidge ni tampoco comulgan con sus ideas acerca de la expansión del universo. En efecto, en 1993 J. Hutchings y colaboradores [90] reportaron un número importante de galaxias opacas (faint galaxies) cerca de cuasares. Los autores mostraron que muchas de esas galaxias poseen líneas de emisión parecidas a los cuasares vecinos, sugiriendo que ellas tienen el mismo corrimiento de esos cuasares. El otro artículo del año 1994, A. Aragón-Salamanca y colaboradores [91] publicaron una data que muestra un significativo exceso estadístico de galaxias opacas cercanas a cuasares. Estos investigadores examinaron la posibilidad de que éste exceso surja del hecho de que éstas fuentes estén físicamente asociadas.

Durante la primera parte de ésta década Arp ha seguido cuestionando con sus incómodos hallazgos y análisis la interpretación del efecto lente gravitacional [92,93], criticando la hipótesis de la expansión del universo y el Big Bang [94,95]. Otro hallazgo inquietante realizado por Arp es la asociación física entre el cuasar Markarian 205 y la galaxia NGC 4319 [96].

En efecto, la existencia de un puente luminoso entre el cuasar Markarian 205 y la galaxia NGC 4319 se conoce desde hace tiempo como evidencia de que los cuasares no están a la distancia que supuestamente indican sus corrimientos. Lo increíble del asunto es que las observaciones de rayos X que se realizaron, confirmando tal evidencia, no fueron publicadas. Esas observaciones fueron recuperadas de los archi-

vos de Einstein Laboratory Archives y publicadas por H. Arp [96].

Finalmente podemos decir que todo éste asunto levanta una serie de dudas acerca si hemos de seguir interpretando el corrimiento al rojo de los cuasares según lo postula la cosmología. Hasta el presente, los cuestionamientos de Arp, Burbidge y la de sus respectivos colaboradores, y las observaciones del grupo de Hogan no han recibido respuesta satisfactoria, o han sido subestimadas. En cualquier caso esta situación de la asociación cuasar-galaxia plantea una formidable paradoja para la astrofísica moderna, generando muchas y agrias controversias en el seno de la comunidad científica, pero contribuirán decididamente a clarificar nuestra visión del universo.

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecen a los árbitros por suministrarnos algunas referencias importantes y por sus valiosos comentarios. También al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia (CONDES) por su financiamiento (Proyecto No. 1696-95).

Referencias Bibliográficas

1. Hubble, E., *Astrophys. J.*, Vol. 62, (1925), 409.
2. Hubble, E., *Astrophys J.*, Vol. 63, (1926), 236.
3. Hubble, E., *Astrophys J.*, Vol. 64, (1926), 321.
4. Hubble, E., *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, Vol. 15, (1929), 169.
5. Hubble, E., and Humason, M. L., *Astrophys. J.*, Vol. 74, (1931), 43.
6. Hubble, E., *Astrophys. J.*, Vol. 79, (1934), 8.
7. Hubble, E., *Astrophys. J.*, Vol. 84, (1936), 517.
8. Sandage, A., et al., *Astrophys J. Lett.*, Vol. 401, (1992), L7.
9. Branch, D., *Astrophys. J.*, Vol. 392, (1992), 35.
10. Schmidt, B., Kirshner, R., and Eastman, R., *Astrophys. J.*, Vol. 395, (1992), 366.

11. Sandage, A., Conferencia sobre la expansión del universo publicado en los Proceedings del Seventh Marcel Grossman Meeting on General Relativity. Ed. World Scientific Publishing, Stanford University, California. USA 1994.
12. Misner, C., Thorne, K., and Wheeler, J., *Gravitation*, Ed. W. H. Freeman and Company, San Francisco (1973). Capítulos 27 al 29.
13. Penzias, A. A., and Wilson, R., *Astrophys. J.*, Vol. 142, (1965), 419.
14. Mather, J. C., et al. *Astrophys. J.*, Vol. 354, (1990), L37.
15. Mather, J. C., et al. *Astrophys. J.*, Vol. 420, (1994), 439.
16. Smoot, G. F., et al. *Astrophys. J.*, Vol. 396, (1992), L1.
17. Peebles, P. J., *Astrophys. J.*, Vol. 146, (1966), 542.
18. Wagoner, R., Fowler, W., and Hoyle, F., *Astrophys. J.*, 148, (1967), 3.
19. Reeves, H., Andouze, J., Fowler, W., and Schramm, D., *Astrophys. J.*, Vol. 179, (1973), 909.
20. Epstein, R., Lattimer, J., and Schramm, D., *Nature*, Vol. 263, (1976), 198.
21. Walker, T. P., et al., *Astrophys. J.*, Vol. 376, (1991), 51.
22. Smith, M. S., Kawano, L. H., and Malaney, R. A., *Astrophys. J. Suppl. Ser.* Vol. 85, (1993), 219.
23. Songaila, A., Cowie, L. L., Hogan, C. J., and Rugers, M., *Nature*, Vol. 368, (1994), 599.
24. Schmidt, M., *Astrophys. J.*, Vol. 197, (1963), 1040.
25. De Veny, J. B., Osborn, W. H., and Yanes, K., *PAPS*, Vol. 83, (1971), 611.
26. Verón-Cotty, M. P., and Véron, P., *ESO Scientific Report No 13* (1993).
27. Mc. Mahon, G., *Mon. Not. R. Astro. Soc.*, Vol. 267, (1994), L9.
28. Weedman, D. W., *Quasar Astronomy*. Cambridge University Press, Cambridge (1986), 24-28.
29. Weedman, D. W., *Op. cit.*, 189.
30. Robinson, J., and Shucking, E. L., en *Proceedings of 1st. Texas Conference*. University of Chicago Press, Chicago (1965), 124-129.
31. Saslaw, W. C., en *Formation and Dynamics of Galaxies*, Ed. J. R. Shakeshaft, Holland (1974), 210-215.
32. Gold, T., Axford, W. I., and Ray, E. J., en *Proceedings of 1st. Texas Conference*. University of Chicago Press, Chicago (1965), 65-77.
33. Spitzer, L., en *Galactic Nuclei*, Ed. D. O'Connell, Holland (1971), 145-164.
34. Arons, J., Kulsrud, R. N., and Ostriker, J. P., *Astrophys. J.*, Vol. 198, (1975), 683.
35. Rees, M.J., *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, Vol. 264, (1977), 613.
36. Hoyle, F., and Burbidge, G., *Astrophys. J.*, Vol. 144, (1966), 534.
37. Salpeter, E. E., en *Quasi-Stellar Sources and Gravitational Collapse*, Ed. I. Robinson, A. Schild and E. L. Schucking. University of Chicago Press, Chicago (1965).
38. Shapiro, S., and Teukolsky, S., *Black Holes, White Dwarfs, and Neutron*. The Physics of Compact Objects. Ed. Wiley, New York (1983), 242.
39. Burbidge, G., en *New Ideas in Astronomy*, Ed. F. Bertola, J. W. Sulentic and B. F. Madore. Cambridge University Press. New York (1987), 234.
40. Arp, H., *Astrophys. J.*, Vol. 148, (1967), 321.
41. Burbidge, E. M., Burbidge, G., Salomon, P. M., and Strittmatter, P.A., *Astrophys. J.*, Vol. 170, (1971), 233.
42. Kippehan, R., and De Vries, H., *Astrophys. and Space Sci.*, Vol. 26, (1974), 131.
43. Lindell-Bell, D., Cannon, R., Penston, M., and Rothma, V., *Nature*, Vol. 211, (1966), 838.
44. Arp, H., *Astrophys. J.*, Vol. 152, (1968), 633.
45. Arp, H., *Astrophys. J.*, Vol. 174, (1971), 189.
46. Arp, H., *Astron. J.*, Vol. 75, (1970), 1.
47. Burbidge, G., O' Dell, S. L. and Strittmatter, P. A., *Astrophys. J.*, Vol. 175, (1972), 601.

48. Arp, H., en IAU Symposium No. 63, Ed. M. S. Longair and D. Reidel. Holland (1973), 61.
49. The Redshift Controversy. Ed. G. Field and W. A. Benjamin. Massachussets (1973).
50. Arp, H., Ann. N. Y. Acad. Sci., 336, (1980), 94.
51. Arp, H., and J. W. Sulentic, *Astrophys J.*, 229, (1979), 496.
52. Weedman, D. W., *Astrophys. J.*, Vol. 237, (1980), 326.
53. Sulentic, J. W., *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 244, (1981), 253.
54. I. A. Browne, *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 263, (1982), L7.
55. Webster, A., *Mon. Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 200, (1982), 47.
56. Arp, H., *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 271, (1983), L41.
57. Znidervijk, E. J., de Ruitter, H. R., *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, Vol. 204, (1983), 675.
58. Dubois, M. A., Giraud, E., and Vigier, J.P., *Comptes Rendnes Academie Sciences Paris. Serie III-259*, Sept. 1983.
59. Chu, Y., Zhn. X., Burbidge, G., Hewitt, A., *Astron. and Astrophys.*, Vol. 138, (1984), 148.
60. Arp, H., *Astrophys. J.*, Vol. 271, (1983), 479.
61. Arp, H., and Gavazzi, G., *Astron. and Astrophys.*, Vol. 139, (1984), 240.
62. Arp, H., Surdey, J., and Swings, J. P., *Astron. and Astrophys.*, Vol. 139, (1984), 179.
63. Burbidge, G., Narlikar, J., and Hewitt, A., *Nature*, Vol. 317, (1985), 413.
64. Sulentic, J. W., and Arp, H., *Astron J.*, Vol. 88, (1982), 267.
65. Gun, J. C., *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 164, (1971), L113..
66. Robinson, L. B., and Sampler, E. J., *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 171, (1972), L83.
67. Stockton, A. N., *Astrophys. J.*, Vol. 223, (1978), L113.
68. Oemler, A., Gun, J. C., and Oke, J. B., *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 176, (1972), L47.
69. Bogart, R. S., and Wagoner, R. V. *Astrophys. J.*, Vol. 181, (1973), 609.
70. Seldner, M., and Peebles, P. J., *Astrophys. J.*, Vol. 227, (1979), 30.
71. Burbidge, G., *Nature*, Vol. 282, (1979), 451.
72. Bolton, J., et al., *Astrophys. J. Lett.*, Vol. 210, (1976), L1.
73. Walsh, D., Carswell, R. F., and Weymann, R. J., *Nature*, Vol. 279, (1979), 381.
74. Burbidge, G., *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, Vol. 375, (1981), 123.
75. Arp, H., *Redshifts and Controversies*. Interstellar Medium Publishing, Berkeley (1987).
76. Fugman, N., *Astron. Astrophys.*, Vol. 209, (1988), 620.
77. Monk, A., Penston, M., and Pettini, M., *Not. R. Astron. Soc.*, Vol. 234, (1988), 193.
78. Stocke, J. T., et al., *Astrophys. J.*, Vol. 374, (1988), 721.
79. Webster, R., Hewett, P., Harding, M., and Wegner, G. *Nature*, Vol. 336, (1988), 358.
80. Walsh, D., Carswell, R. F., and Weymann, R. J., *Nature*, Vol. 279, (1979), 381.
81. Arp, H., *Phys. Lett.*, Vol. A167, (1992), 129.
82. Hogan, C., Narayan, R. and White, S., *Nature*, Vol. 339, (1989), 106.
83. Linder, E., and Schneider, P. S., *Astron. Astrophys.*, Vol. 204, (1988), 21.
84. Webster, R., Hewett, P., Harding, M., and Wegner, G. *Nature*, Vol. 339, (1989), 106.
85. Narlikar, J. V., *Space Sci. Rev.*, Vol. 50, (1993), 523.
86. Carilli, L, van Gorkom, and Stocke, J., *Nature*, Vol. 338, (1989), 134.
87. Peebles, P. J. E. et al., *Nature*, Vol. 352, (1991).
88. Burbidge, G. et al., *Astrophys. J.*, Vol. 74, (1990), 675.
89. Herrera, L., *Astrophys. Space Sc.*, Vol. 213, (1994), 131.
90. Hutchings, J. B., Crampton, D., and Persram, D., *Astron. J.*, Vol. 106, (1993), 1324.
91. Aragón-Salamanca, A., Ellis, R. J., Schwartzberg, J. M., and Bergeron, J. A., *Astrophys. J.*, Vol. 421, (1994), 27.
92. Arp, H., *Astron. Astrophys.*, Vol. 229, (1990), 93.

93. Arp, H., Phys. Lett., Vol. A164, (1992), 6.
94. Arp, H., Astron. Now. Vol. 3, (1990), 21.
95. Arp, H., Phys. Lett., Vol. A164, (1992), 263.

96. Arp, H., Phys. Lett., Vol. A146, (1990), 172.

Recibido el 27 de febrero de 1996