

## Comentario previo

Cerca de 1920 el mundo astronómico comenzó a ser sacudido por la llegada de nueva información proveniente del telescopio Hooker de Mount Wilson. Sus 100 pulgadas de diámetro permitieron observar el cielo profundo como nunca antes se lo había hecho. Ya estaban en uso corriente las placas fotográficas como una herramienta poderosa y estandarizada para la Astronomía. Los espectrógrafos y los fotómetros producían cantidades de datos de alta precisión. Un poco más de diez años antes, el diagrama de Hertzsprung- Russell había hecho su irrupción en la escena astrofísica originando un número de preguntas sobre las luminosidades y espectros de las estrellas ya que estrellas de igual tipo espectral podían tener, sin embargo, diferentes brillos intrínsecos. En sintonía con ello, Eddington había construido su teoría de las estrellas gigantes gaseosas.

Se sabía de la existencia de los cúmulos globulares y abiertos. Se sabía que los cúmulos globulares pertenecían al sistema galáctico. Además, en el cielo nocturno los astrónomos observaban un creciente número de nebulosas con forma espiral pero no acertaban a saber si eran objetos de nuestro sistema galáctico o si se trataba de otras galaxias, distintas de las nuestra, remotas y pobladas de estrellas, que se simbolizaban en la teoría de “universos islas”. Pero nuestra galaxia misma era un enigma. ¿Qué era la Vía Láctea sino una banda lechosa de estrellas que circundaba el cielo dejando a la Tierra en una incómoda postura geocéntrica? No se sabía a ciencia cierta cuáles eran las dimensiones de la mismísima Vía Láctea aunque había cierto acuerdo sobre su forma, de esferoide oblado o de reloj pulsera extremadamente delgado. El asombro de los astrónomos fue en aumento al notar que cada clase de objeto en el cielo tenía su propia velocidad característica hasta alcanzar la cima en las nebulosas espirales que se movían a la formidable velocidad de 1200 km/seg.

Los conteos de objetos en el cielo mostraban que las nebulosas espirales eran abundantes hacia los polos de la galaxia (allí donde casi no había estrellas) pero disminuían a medida que uno se aproximaba hacia la Vía Láctea donde, sin embargo, la densidad de estrellas era inmensa. “Aborrecen [las galaxias] las zonas de gran concentración estelar” dice Curtis.

¿Por qué? ¿Acaso nuestro sistema estelar “repele” a este tipo de objetos? Hay, en este punto, una notable observación de H. Curtis. El asocia la peculiar característica de que todas las nebulosas espirales, cuando son vistas de canto, muestran anillos de materia oscura rodeándolas por sus planos principales con el hecho de que estos objetos no son vistos en el plano de nuestra propia Vía Láctea.

Y las variables de tipo Cefeidas se transformaron en un polo de discusión. Estas extrañas gigantes que mostraban una precisa correlación entre el período y la luminosidad fueron el nuevo “metro patrón” que empleara Shapley para proclamar una nueva escala de distancias, aunque de ninguna manera fueron, en si mismas, la única justificación.

Las novas, por entonces, fueron otro punto de discusión astronómica. Al igual que en el caso de las Cefeidas (y en realidad, para todas las estrellas) la falta de una teoría de evolución y el desconocimiento de los mecanismos de generación de energía en los interiores estelares llevó a postular teorías erróneas sobre las novas. Por esa época se pensaba que las novas eran estrellas rítmicamente oscurecidas por el pasaje delante de ellas de nubes de polvo de nuestra galaxia que debilitaban su luz. Pero

si este pensamiento es curioso, no es menos singular que con esta suposición Curtis haya construido una vinculación casi taxonómica entre las nebulosas espirales, sus anillos de polvo, el número de novas observadas en Andrómeda y el registro que de las mismas que se tenía en nuestro sistema galáctico para explicar por qué las espirales eran galaxias distantes, iguales a la nuestra en cierta medida.

Los astrónomos de la época todavía se preguntaban si todas las estrellas de determinado tipo tenían iguales propiedades intrínsecas. Ellos sabían que en el entorno solar había estrellas enanas y gigantes del mismo tipo pero con propiedades distintas. El dilema de hierro era si las estrellas ubicadas en regiones remotas de nuestro sistema galáctico tenían también las mismas propiedades que las similares de los alrededores del sol, incluso admitiendo diferencias intrínsecas por tipo.

En este contexto se imponía “El gran debate sobre la escala de distancias del universo”. Pero “El gran debate” nunca existió. Como tal fue una construcción legendaria, un mito al decir del historiador de la Astronomía, M. Hoskin. Nunca, formalmente, H. Shapley y H. Curtis discutieron sus argumentos en el marco de un debate. Desde luego había un debate en ciernes desde un cierto tiempo antes de 1920 pero jamás se materializó en una disputa académicamente organizada.

Ciertamente Shapley, un astrónomo joven y brillante, sostenía una fervorosa posición filosófica revisionista, observacionalmente sustentada, que se oponía parcialmente a la posición más prudente pero igualmente sólida de H. Curtis.

En realidad no hubo debate. Shapley y Curtis, expusieron sus argumentos en dos artículos que fueron publicados en 1921 en el “BULLETIN OF THE NATIONAL RESEARCH COUNCIL Vol. 2, Part 3, May, 1921, Number 11, pp 171-217.” Pero de ninguna manera estos artículos son el registro escrito de lo hablado durante la reunión científica que tuvo lugar en la National Academy of Sciences in Washington el 26 de Abril de 1920, donde Harlow Shapley de Mount Wilson y Heber D. Curtis del Lick Observatory dieron sendas charlas bajo el título “The Scale of the Universe”. El imaginario colectivo (que también existe en ciencia) hizo de esta situación un debate que jamás tuvo lugar. De todos modos, el gran debate llegaría a su fin por 1925 cuando Edwing Hubble descubre la presencia de variables Cefeidas en otras galaxias.

El grupo de **Astrofísica de cúmulos abiertos de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas** ha traducido el texto completo de ambos artículos (Partes I y II) tal como fueron publicados. Fundamentalmente por dos razones:

- Por el inmenso regocijo que produce la lectura de artículos cumbre (filosóficamente hablando) de la disciplina que profesamos y queremos. Regocijo que deseamos compartir.
- Porque quisiéramos que los alumnos de los primeros años de nuestra carrera, especialmente, y los de años avanzados y, finalmente, cualquiera de los que estemos interesados en el desarrollo de los hechos nos acerquemos a contemplar los primeros grandes momentos de la astrofísica.

Dejamos a los lectores la apreciación de la “integridad” personal que ambos expositores ponen en juego. Honesta y firmemente, sin ninguna cobardía académica, dejan por escrito sus pareceres sobre el universo. Ambos se respetan aún en posiciones antagónicas.

La posteridad no proclamó vencedor a ninguno de ellos. Shapley tenía razón en cuanto a la escala de distancias del universo pero se equivocó al negar que las espirales eran galaxias externas. Curtis, estaba equivocado en cuanto a las dimensiones del universo, pero acertó al considerar y argumentar en favor de las espirales como galaxias externas a la nuestra.

El “Gran debate” es un ejemplo de aquellos instantes en ciencia donde llega el tiempo de contraponer las ideas viejas con el nuevo material aportado por nuevos métodos y técnicas observacionales; en el fondo, es la batalla por la unicidad de los principios y por la equiparación de los fenómenos en el universo.

Queremos hacer notar, asimismo, que la lectura de ambos artículos mostrará al lector la falta de uniformidad en el uso de ciertos términos técnicos. Hemos tratado de respetar la redacción original pero en algunos casos, para hacer la lectura más simple, hemos tenido que introducir modificaciones al texto que nunca fueron tan importantes como para alterar el sentido original de la redacción. Las notas a pie de página corresponden a notas originales. Hemos agregado una tercera parte, *Notas de traducción*, numeradas de 100 a 105 que contienen explicaciones que, esperamos, ayuden a comprender mejor el texto.

Finalmente deseamos agradecer a la Librería del Congreso de los Estados Unidos, especialmente al Sr. P. Clifton de la ST&B Division por proveernos muy gentilmente las fotocopias de los artículos originales.

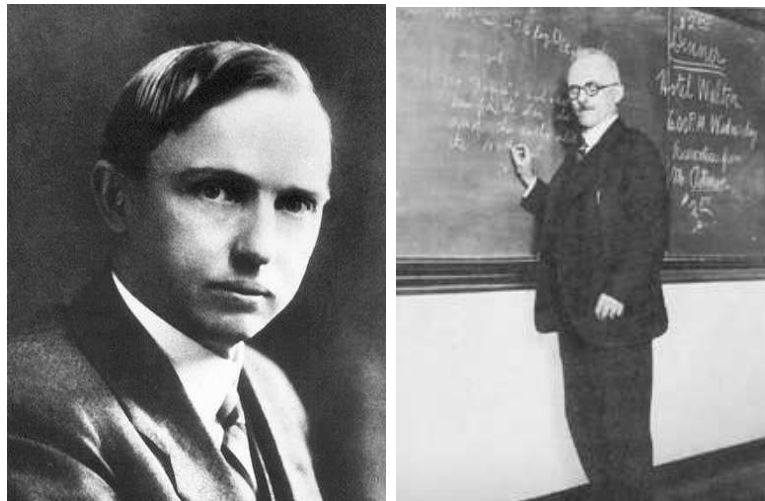


Figura 1: **Izquierda**, Harlow Shapley, nació en Nashville el 2 de noviembre de 1885 y murió el 20 de octubre de 1972. **Derecha**, Heber Doust Curtis, nació en Michigan el 27 de junio de 1872 y murió el 9 de junio de 1942

# EL GRAN DEBATE

25 de noviembre de 2008

## Índice

<b>I</b>	<b>Harlow Shapley</b>	<b>5</b>
<b>1.</b>	<b>Evolución de la idea del tamaño galáctico</b>	<b>5</b>
1.1.	Revisando la vecindad solar . . . . .	7
1.2.	Sobre las distancias de los cúmulos globulares . . . . .	11
1.3.	Las dimensiones y disposición del sistema galáctico . . . . .	20
<b>II</b>	<b>Heber Curtis</b>	<b>22</b>
<b>2.</b>	<b>Dimensiones y estructura de la galaxia</b>	<b>22</b>
2.1.	Evidencia construída por las magnitudes de las estrellas . . . . .	25
2.2.	Las espirales como galaxias externas . . . . .	35
<b>III</b>	<b>Notas de traducción</b>	<b>42</b>

## Parte I

# Harlow Shapley

## 1. Evolución de la idea del tamaño galáctico

Para el hombre primitivo el universo físico<sup>1</sup> era antropocéntrico. En un estado siguiente de progreso intelectual se lo colocó en un área restringida de la superficie de la tierra. Todavía un poco más tarde, para Ptolomeo y su escuela, el universo era geocéntrico; pero desde los tiempos de Copérnico el sol, en tanto que cuerpo dominante del sistema solar, se ha considerado que está en, o cerca de, el centro del campo estelar. Con el advenimiento de cada una de estas sucesivas concepciones, el sistema de estrellas ha devenido más grande de lo que se pensaba antes. De modo tal que la significación del hombre y la Tierra en el esquema sideral ha disminuido con el avance del conocimiento del mundo físico, y nuestra concepción de las dimensiones del universo estelar discernible ha cambiado progresivamente. ¿No es probable una evolución ulterior de nuestras ideas? ¿Podemos mantener firmemente, de cara a la gran acumulación de información nueva y relevante, nuestras viejas concepciones cósmicas?

Como consecuencia del excepcional crecimiento y actividad de los grandes observatorios, con sus métodos poderosos para analizar estrellas y sondear el espacio, hemos alcanzado una época, creo yo, donde se precisa otro avance. Nuestra concepción del sistema galáctico debe ser extendida para mantener en una adecuada relación los objetos que nuestros telescopios están encontrando; el sistema solar ya no puede mantener más una posición central. Los recientes estudios de cúmulos y temas relacionados me parece a mí que no dejan alternativa a la creencia de que el sistema galáctico es al menos diez veces más grande en diámetro –al menos mil veces mayor en su volumen– de lo que se suponía recientemente.

El Dr. Curtis<sup>2</sup>, sostiene, por otro lado, que el sistema galáctico tiene las dimensiones y disposición que le asignaron los analistas de la estructura sideral –él justifica los puntos de vista sostenidos hace más o menos una década por Newcomb, Charlier, Eddington, Hertzsprung, y otros líderes en astronomía estelar. En contraste a mi presente estimación de un diámetro de al menos trescientos mil años luz Curtis bosqueja su posición como sigue<sup>3</sup>:

En relación a las dimensiones de la galaxia indicada como la Vía Láctea, hasta recientemente ha habido un buen grado de uniformidad en las estimaciones de aquellos quienes investigaron el asunto. Prácticamente todos han deducido diámetros de 7000 a 30000 años luz. Yo asumo como máximo diámetro 30000 años luz para representar suficientemente bien esta antigua visión a la cual yo suscribo aunque es muy ciertamente demasiado grande.

Pienso que debería ser señalado que cuando Newcomb escribió sobre este punto hace 20 años, el conocimiento de los factores especiales que tienen que ver directamente con el tamaño del universo era extremadamente fragmentario comparado con

---

<sup>1</sup>la palabra “universo” se usa en este trabajo en el sentido restricto, como lo aplicable al total de los sistemas siderales que ahora sabemos que existen.

<sup>2</sup>Ver Parte II de este artículo, de Heber D. Curtis

<sup>3</sup>Acotada de una copia manuscrita de su charla de Washington

la información de hoy día. En 1900, por ejemplo, se conocía el movimiento radial de alrededor de 300 estrellas; ahora conocemos las velocidades radiales de miles. Estaban registradas las distancias exactas para posiblemente 150 de las estrellas más brillantes, y ahora para tanto como diez veces más. Por entonces había espectros para menos de un décimo de las estrellas para las cuales hoy tenemos tipos. No se sabía prácticamente nada en ese tiempo de los métodos fotométricos y espectroscópicos para determinar distancias; nada de las velocidades radiales de cúmulos globulares o de las nebulosas espirales, o siquiera el fenómeno de la corriente de estrellas<sup>100</sup>.

Como una indicación adicional de la importancia de examinar de nuevo el tamaño de los sistemas estelares, consideremos el gran cúmulo globular en Hércules<sup>101</sup> —una vasta organización sideral respecto de la cual teníamos, hasta recientemente, vagas ideas. Debido a las investigaciones extensas y variadas, llevadas a cabo durante los últimos años en Mount Wilson y otras partes, ahora sabemos las posiciones, magnitudes, y colores de todas las estrellas más brillantes, y muchas relaciones entre color, magnitud y distancia desde el centro, y la densidad estelar. Conocemos algunas de estas correlaciones importantes con mayor certeza en el cúmulo de Hércules que en los alrededores del sol. Ahora tenemos espectros de muchas de las estrellas individuales, y el tipo espectral y la velocidad radial del cúmulo como un todo. Sabemos los tipos y períodos de la variación de luz de sus estrellas variables, los colores y tipos espectrales de estas variables, y algo también sobre la luminosidad absoluta de las estrellas más brillantes del cúmulo a partir de la apariencia de sus espectros. ¿Es sorprendente, entonces, que nos aventuremos a determinar la distancia de Messier 13 y sistemas similares con más confianza de lo que era posible hace 10 años cuando ninguno de estos hechos era conocido, o incluso seriamente considerados en especulaciones cósmicas?

Si él escribiera ahora, con el conocimiento de estos desarrollos relevantes, yo creo que Newcomb no mantendría su primitivo punto de vista sobre las probables dimensiones del sistema galáctico.

Por ejemplo, el Profesor Kapteyn ha encontrado ocasión, con el progreso de sus elaborados estudios de leyes y de luminosidades estelares y densidad, de indicar dimensiones mayores de la galaxia que las aceptadas anteriormente. En un paper a punto de aparecer como *Mount Wilson Contribution, No. 188*<sup>4</sup>, él encuentra, como resultado de la investigación que se extiende por más de 20 años, que la densidad de estrellas a lo largo del plano galáctico es muy apreciable a una distancia de 40000 años luz - dando un diámetro del sistema galáctico, sin contar nubes de estrellas distantes de la Vía Láctea, cerca de tres veces el valor que Curtis acepta como un máximo para la galaxia entera. De igual modo Russell, Eddington, y, creo yo, Hertzsprung, ahora suscriben a mayores valores de dimensiones galácticas; y Charlier, en una disertación reciente ante la Swedish Astronomical Association, ha aceptado los rasgos esenciales de la galaxia más grande, aunque anteriormente él identificó el sistema local de estrellas B con todo el sistema galáctico y obtuvo distancias de los cúmulos y dimensiones de la galaxia solamente un centésimo más grande que las que yo derivé.

---

<sup>4</sup>La contribución está publicada conjuntamente con el Dr. van Rhijn

## 1.1. Revisando la vecindad solar

Recordemos primero que el universo estelar, tal como lo conocemos, parece ser un esferoide muy oblado o un elipsoide –un sistema de forma de disco compuesto principalmente por estrellas y nebulosas. El sistema solar no está lejos del plano medio de esta organización achatada a la cual llamamos el sistema galáctico. Mirando hacia fuera del plano vemos relativamente pocas estrellas; mirando a lo largo del plano, a gran profundidad del espacio poblado de estrellas, vemos grandes cantidades de objetos sidéreos conformando la banda de luz que llamamos la Vía Láctea. Los cúmulos estelares ligeramente organizados, tales como las Pléyades, las nebulosas difusas tales como la gran nebulosa de Orión, las nebulosas planetarias, de las cuales la nebulosa de anillo en Lyra es un buen ejemplo, las nebulosas oscuras – todos estos tipos siderales parecen ser una parte del gran sistema galáctico, y yacen casi exclusivamente a lo largo del plano de la Vía Láctea. Los cúmulos globulares, aunque no en la Vía Láctea, están también vinculados con el sistema galáctico; las nebulosas espirales parecen ser objetos distantes principalmente si no enteramente fuera de las partes más pobladas de la región galáctica. Esta concepción del sistema galáctico, como una organización de estrellas y nebulosas achatada con forma de reloj pulsera, con cúmulos globulares y nebulosas espirales como objetos externos, es generalmente bien aceptada sobre todo por los que estudian este aspecto; pero en el asunto de las distancias de los varios objetos siderales –el tamaño del sistema galáctico– hay, como se sugirió arriba, opiniones ampliamente divergentes. Por lo tanto, primero consideremos rápidamente las dimensiones de aquella parte del universo estelar respecto de la cual hay unanimidad esencial de opinión, y más tarde discutamos en más detalle el campo mayor, donde parecería haber una necesidad de modificación de la visión convencional más vieja.

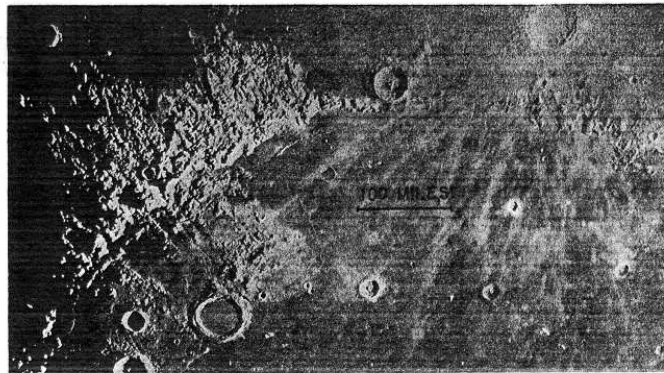


Figura 2: *La región de los Apeninos sobre la superficie de la luna fotografiada con el telescopio de 100 pulgadas. Fotografía de F. G. Pease*

Posiblemente la forma más conveniente de ilustrar la escala del universo sideral es en términos de nuestras unidades de medición, yendo de las unidades terrestres a aquellas de los sistemas estelares. Sobre la superficie de la Tierra expresamos las distancias en unidades tales como pulgadas, pies o millas. Sobre la Luna, como se ve en la fotografía que se acompaña, hecha con el telescopio reflector de 100

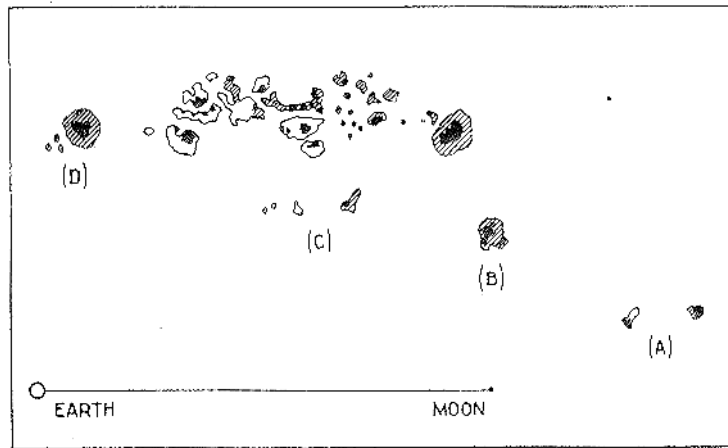


Figura 3: *Un grupo de spots solares que aparecieron en Febrero de 1920 y duraron 100 días. Las regiones sombreadas y no sombreadas indican polaridades magnéticas de signos opuestos. Dibujo de S. B. Nicholson.*



Figura 4: *Dos fotografías sucesivas sobre la misma placa de la nebulosa difusa N. G. C. 221, hecha con el reflector de 100 pulgadas para ilustrar la posibilidad de incrementar grandemente el poder fotográfico de un gran reflector usando piezas accesorias. El tiempo de exposición del cuadro a la izquierda fue de quince minutos; fue de cinco minutos para el cuadro de la derecha, hecho con la ayuda del intensificador fotográfico descrito en Proc. Nat. Acad. Sci., 6., 127, 1920. Para preparar la figura las dos fotografías fueron llevadas a la misma escala.*

pulgadas, la milla es todavía una unidad de medición usable; una escala de 100 millas está indicada en la escena lunar.

Nuestra escala de medición debe ser incrementada enormemente, sin embargo, cuando consideramos las dimensiones de una estrella -distancias sobre la superficie de nuestro sol, por ejemplo. Los largos spots solares mostrados en la ilustración no pueden ser medidos convenientemente en unidades apropiadas para distancias terrestres -en efecto, la Tierra misma no es demasiado grande de ninguna manera. La unidad para medir las distancias desde el sol a sus planetas satélites, es, sin embargo, 12000 veces el diámetro de la Tierra; es la llamada unidad astronómica,



la distancia promedio de la Tierra al sol. Esta unidad, de 93000000 de millas de longitud, es adecuada para las distancias de planetas y cometas. Probablemente debería ser suficiente para medir las distancias de cualquier cometa o planetas que pudiera haber en la vecindad de otras estrellas; pero ésta, a su vez, es inapropiada para expresar las distancias de una estrella a otra, puesto que algunas de ellas están a cientos de millones, incluso miles de millones de unidades astronómicas lejos.

Esto nos lleva a abandonar la unidad astronómica y a introducir el año luz como medida para sondear la profundidad del espacio estelar. La distancia que la luz viaja en un año es algo menos de seis millones de millones de millas. La distancia de la Tierra al sol es, en esas unidades, ocho minutos luz. La distancia a la Luna es 1.2 segundos luz. En algunas fases de nuestros problemas astronómicos (estudiando fotografías de espectros estelares) hacemos medidas microscópicas directas de diez milésimos de pulgada; e indirectamente medimos cambios en la longitud de onda de la luz un millón de veces más pequeños que esto; al discutir la distribución de cúmulos globulares en el espacio, debemos medir cien mil años luz. Expresando estas medidas, grandes y pequeñas, con referencia a la velocidad de la luz, tenemos una ilustración de la escala del universo del astrónomo - sus medidas van desde la trillonésima parte de la billonésima parte de un segundo luz, a más de un millón de siglos luz. La razón de la medida más grande a la más pequeña es como  $10^{33}$  a 1.

Debe ser notado que la luz juega un rol absoluto en el estudio del universo; conocemos la física y la química de las estrellas sólo a través de su luz, y expresamos sus distancias desde nosotros por medio de la velocidad de la luz. El año luz, además, tiene un doble valor en la exploración sideral; es geométrico, como hemos visto, y es histórico. Nos cuenta no sólo cuánto está un objeto, sino también, cuánto tiempo hace que la luz que examinamos empezó su camino. Usted no ve el sol donde está ahora, sino donde estaba hace ocho minutos. Ustedes no ven las estrellas débiles de la Vía Láctea como son ahora, sino probablemente como eran ellas cuando las pirámides de Egipto fueron construidas; y los antiguos egipcios las vieron como fueron ellas en un tiempo todavía más remoto. Por lo tanto estamos cronológicamente lejos de los eventos cuando estudiamos las condiciones o conducta dinámica en sistemas estelares remotos; los movimientos, emisiones de luz, y variaciones investigadas ahora en el cúmulo de Hércules no son contemporáneos sino, si mi valor de la distancia es correcto, ellos son fenómenos de hace 36000 años. La gran antigüedad de estos pulsos de energía radiante que arriban no representan, no obstante, desventaja alguna; en efecto, su antigüedad ha devenido un buen propósito al testear la velocidad de la evolución estelar, al indicar las enormes edades de las estrellas, al sugerir la vasta extensión del universo en el tiempo y en el espacio.

Tomando el año luz como una unidad satisfactoria para expresar las dimensiones de los sistemas siderales, consideremos las distancias de las estrellas cercanas y los cúmulos, y rápidamente mencionemos los métodos para deducir sus posiciones espaciales. Para objetos estelares cercanos podemos hacer medidas trigonométricas directas de las distancias (paralajes), usando la órbita de la Tierra o el camino del sol en el espacio como línea de base. Para muchas de las más distantes estrellas están disponibles métodos espectroscópicos, usando la apariencia de los espectros estelares y el brillo aparente de las estrellas fácilmente medible. Para ciertos tipos de estrellas, muy distantes para datos espectroscópicos, existe todavía la chance de obtener

la distancia por medio de métodos fotométricos. Este método es particularmente adecuado para estudios de cúmulos globulares; consiste en determinar primero, por algunos medios, la luminosidad real de una estrella, esto es la así llamada magnitud absoluta, y segundo, en medir su magnitud aparente. Obviamente, si una estrella de brillo real conocido se aleja a distancias cada vez mayores, su brillo aparente disminuye; por esto, para tales estrellas de magnitud absoluta conocida, es posible usar una simple fórmula para determinar la distancia al medir la magnitud aparente.

Parece por lo tanto, que aunque el espacio puede ser explorado a distancias de solamente unos pocos cientos de años luz por métodos trigonométricos directos, no estamos obligados, por nuestra incapacidad de medir ángulos todavía más pequeños, a extrapolar inciertamente o a hacer vagas adivinaciones relativas a las regiones más distantes del espacio, puesto que las distancias determinadas trigonométricamente pueden ser usadas para calibrar las herramientas de los métodos más nuevos y menos restrictivos. Por ejemplo, los métodos trigonométricos de medir la distancia a la Luna, el sol, y las estrellas más próximas, son decididamente indirectos, comparados con las mediciones lineales de las distancias sobre la superficie de la Tierra, pero no son por esta razón ni inexactos ni cuestionables en principio. Los métodos espectroscópicos o fotométricos para medir grandes distancias estelares son también indirectos, comparados con las mediciones trigonométricas de pequeñas distancias estelares, pero ellos tampoco son por esa razón no creíbles o de dudoso valor. Estas grandes distancias no son extrapolaciones. Por ejemplo, en el método espectroscópico, las magnitudes absolutas derivadas de distancias medidas trigonométricamente se usan para derivar las curvas que relacionan las características espectrales con la magnitud absoluta; y las paralajes espectroscópicas de estrellas individuales (sean cercanas o remotas) son, casi sin excepción, interpolaciones. De tal modo que los datos de las estrellas más próximas se usan para propósito de calibración, no como base de extrapolación.

Por uno u otro método, las distancias de alrededor de 3000 estrellas individuales en la vecindad solar han sido determinadas hasta ahora; sólomente unas pocas están dentro de los diez años luz en torno al sol. A una distancia de casi 130 años luz encontramos las Hyades, el bien conocido cúmulo de estrellas (visibles) a ojo desnudo; a una distancia de 600 años luz, según las investigaciones extensivas de Kapteyn, llegamos al grupo de estrellas azules de Orion –otro cúmulo físicamente organizado compuesto de gigantes luminosas. A distancias comparables a los valores de arriba encontramos también el grupo de Scorpio–Centaurus, las Pléyades, el sistema de Ursa Major.

Estos cúmulos cercanos son específicamente mencionados por dos razones.

En primer lugar yo deseo señalar la prevalencia a través de todo el sistema galáctico de cúmulos de estrellas, variadamente organizados, tanto en densidad estelar como contenido estelar total. La organización gravitacional de las estrellas es un rasgo fundamental en el universo –una estrella doble es un aspecto de un cúmulo estelar, un sistema galáctico es otro. Podemos, en verdad, trazar el hecho de aglomeramientos desde el más rico de los cúmulos globulares aislados tales como el sistema en Hércules, a los grupos más cercanos pobremente organizados tipificados en las estrellas brillantes de Ursa Major. A unas cien veces respecto de su presente distancia, el cúmulo de Orion debería lucir muy parecido a Messier 37 o Messier 11; las

‘apariencias’ de los cúmulos telescópicos tienen la forma general y la densidad estelar de las Pléyades y las Hyades. La diferencia entre los cúmulos brillantes y los débiles del sistema galáctico parece naturalmente ser sólo un asunto de distancia.

En segundo lugar, deseo enfatizar el hecho de que las estrellas cercanas que usamos como estándares de luminosidad, particularmente las estrellas azules de tipo espectral B, son miembros de cúmulos estelares. En esto yace el punto más importante en la aplicación de los métodos fotométricos. Podríamos, quizás, cuestionar la validez de comparar las estrellas aisladas en la vecindad del sol con estrellas en un cúmulo compacto; pero la comparación de estrellas de los cúmulos próximos con las estrellas de los cúmulos remotos es enteramente razonable, puesto que ahora estamos tan lejos de las nociones antropocéntricas que resulta tonto postular que las distancias en la Tierra no tienen nada que ver con el brillo intrínseco de las estrellas.

## 1.2. Sobre las distancias de los cúmulos globulares

1. Como se dijo arriba, los astrónomos están de acuerdo sobre las distancias a las estrellas cercanas y los grupos estelares –la escala de la parte del universo que podemos llamar el dominio solar. Pero todavía hay una falta de acuerdo relativo a las distancias de los cúmulos remotos, estrellas y nubes de estrellas –la escala del sistema galáctico total. El desacuerdo en esto último en particular no es una pequeña diferencia de un poco por ciento, un argumento sobre un detalle menor; es un asunto de mil por ciento o más.

Curtis sostiene que la dimensión que yo encuentro para el sistema galáctico debería ser dividida por diez o más (ver acotación de página 172 --*así está en el original; en el presente texto la nota se encuentra en la página 6*); por lo tanto, este tamaño galáctico no justifica la manera de interpretar las nebulosas espirales como galaxias comparables (una teoría que él favorece sobre otras bases pero considera incompatible con valores mayores de las dimensiones galácticas). En su disertación de Washington sin embargo, él simplificó grandemente la discusión presente al aceptar los resultados de recientes estudios sobre los siguientes puntos:

*Proposición A.* - Los cúmulos globulares forman parte de nuestra galaxia; por lo tanto el propio sistema galáctico es muy probablemente no menor que el tamaño del sistema subordinado de cúmulos globulares.

*Proposición B.* - Las distancias derivadas en Mount Wilson para los cúmulos globulares *relativas entre uno y otro* son esencialmente correctas. Esto implica entre otras cosas que (1) la absorción de la luz en el espacio no ha afectado apreciablemente los resultados, y (2) los cúmulos globulares son muy semejantes en estructura y constitución, difiriendo principalmente en distancia. (Estos valores relativos están basados sobre diámetros aparentes, magnitudes integradas, la magnitud de gigantes individuales o grupos de gigantes, y variables Cefeidas; Charlier ha obtenido los mismos resultados a partir solamente de diámetros aparentes, y Lundmark a partir de diámetros aparentes y magnitudes integradas.)

*Proposición C.* - Las estrellas en cúmulos y en partes distantes de la Vía Láctea

no son peculiares - esto es, la uniformidad de condiciones y fenómenos estelares naturalmente prevalece a través del sistema galáctico.

Compartimos la misma opinión, yo creo, sobre los siguientes puntos:

*a.* El sistema galáctico es una organización estelar extremadamente aplanada, y la apariencia de la Vía Láctea está parcialmente debida a la existencia de distintas nubes de estrellas, y es parcialmente el resultado de la profundidad a lo largo del plano galáctico.

*b.* Las nebulosas espirales son principalmente objetos muy distantes, probablemente no miembros físicos de nuestro sistema galáctico.

*c.* Si nuestra galaxia se aproxima a una dimensión de mayor orden, emerge entonces una dificultad seria para la teoría que las espirales son galaxias de estrellas comparables en tamaño con la nuestra: sería necesario suscribir grandes (e) imposibles magnitudes a las nuevas estrellas que aparecen en las nebulosas espirales.

2. A través de un acuerdo aproximado sobre los puntos de arriba se aclara el camino, de modo que se puede establecer claramente la diferencia destacada: Curtis no cree que el valor numérico de la distancia que yo derivo para cualquier cúmulo globular esté en el orden correcto de magnitud.

3. El presente problema puede ser estrechamente restringido por lo tanto, y puede ser reformulado como sigue: mostrar que cualquier cúmulo globular es tan distante como se deriva en Mount Wilson; entonces la distancia de otros cúmulos será aproximadamente correcta (ver Proposición B), el sistema de cúmulos y el sistema galáctico tendrán dimensiones del orden asignado (ver Proposición A), y la teoría de 'la galaxia comparable' de las espirales<sup>102</sup> se encontrará con una seria aunque quizá no insuperable dificultad.

En otras palabras, para mantener mi posición alcanzará con mostrar que cualquiera de los cúmulos globulares brillantes tiene más o menos la distancia en años luz dada debajo, en lugar de una distancia de un décimo de este valor o menos <sup>5</sup>:

Cúmulo	Dist. en a. l.	Mag. fotométrica	
		Aparente	Absoluta
Messier 13	36000	13.75	-1.5
Messier 3	45000	14.23	-1.5
Messier 5	38000	13.97	-1.4
Omega Centauri	21000	12.3:	-1.8 :

Similarmente debería alcanzar con mostrar que los objetos brillantes en los cúmulos son gigantes (cf. última columna arriba), más que estrellas de luminosidad solar.

<sup>5</sup>En el borrador final del siguiente artículo Curtis ha calificado su aceptación de las precedentes proposiciones de tal manera que en algunos detalles numéricos las comparaciones dadas abajo no son más válidamente aplicables a sus argumentos; yo creo, sin embargo, que las comparaciones contrastan correctamente la visión presente con aquella generalmente aceptadas hace unos años.

4. A partir de las observaciones sabemos que alguno o todos estos cuatro cúmulos contienen:

- a. Un intervalo de al menos nueve magnitudes (aparente y absoluta) entre las estrellas más débiles y brillantes.
- b. Un rango de índice de color entre  $-0.5$  y  $+2.0$ , correspondiente al rango total de color comúnmente encontrado entre los ensambles de estrellas.
- c. Estrellas de los tipos B, A, F, G, K, M (de observaciones directas de espectros), y que esos tipos están en suficiente acuerdo con las clases de color para permitir el uso de estas últimas en consideraciones estadísticas ordinarias donde los espectros aún no se conocen.
- d. Cefeidas y variables de cúmulo que son ciertamente análogas a las variables galácticas de los mismos tipos, en espectro, cambio de color, longitud de período, cantidad de la variación de luz, y todas las características de la curva de luz.
- e. Variables irregulares, rojas, de pequeño rango, del tipo Alpha Orionis<sup>103</sup>, entre las estrellas más brillantes de cúmulo.
- f. Muchas estrellas rojas y amarillas de magnitud aproximada a las de las estrellas azules, en obvio acuerdo con los fenómenos de estrellas gigantes del sistema galáctico, y en claro desacuerdo con todo lo que sabemos de la relación color magnitud para estrellas enanas.

5. A partir de estas consideraciones preliminares enfatizamos dos deducciones especiales:

Primero, un cúmulo globular es un “universo” bellamente completo por si mismo, con fenómenos estelares típicos y representativos, incluyendo varias clases de estrellas que en la vecindad solar son reconocidas como gigantes en luminosidad.

Segundo, estamos muy afortunadamente situados para el estudio de cúmulos distantes - hacia el lado de afuera más que hacia adentro. De aquí que obtenemos una vista dimensional comprensiva, podemos determinar luminosidades reales relativas en lugar de luminosidades aparentes relativas, y tenemos la distintiva ventaja que las estrellas más luminosas son fácilmente aislables y la mayoría fácilmente estudiadas. Ninguna de las estrellas brillantes de un cúmulo se nos escapa. Si las gigantes y super gigantes están allí, ellas son necesariamente las estrellas que estudiamos. No podemos manejarnos legítimamente con los brillos promedio de las estrellas en los cúmulos globulares, porque los límites débiles están aparentemente muy lejos de nuestro presente poder telescópico. Nuestras fotografías ordinarias registran solamente los más poderosos radiadores -que acompañan un rango de tres o cuatro magnitudes al tope de la escala de magnitud absoluta- mientras que en el dominio solar tenemos conocido un rango extremo de 20 magnitudes en brillo absoluto, y un intervalo generalmente estudiado de 12 o más magnitudes.

6. Examinemos algunas de las condiciones que existirían en el cúmulo de Hércules (Messier 13) sobre la base de dos valores opuestos de su distancia:

- a. *Las estrellas azules.*- Desde hace largo tiempo los colores de las estrellas han sido reconocidos como característicos de tipos espectrales y como de invaluable ayuda en el estudio de las estrellas débiles para las que las observaciones espectroscópicas

	36000 a. l.	3600 a. l. o menos
a. Magnitud absoluta media fotográfica de estrellas azules C.I. < 0.0	0	+5, o más débil
b. Magnitud absoluta fotográfica máxima de estrellas de cúmulos	de -1.0 a -2.0	+3.2, o más débil
c. Magnitudes absolutas medias fotovisuales de Cefeidas de largo período	-2	+3, o más débil
d. Movimiento propio anual hipotético	0".004	0".04, o mayor

son difíciles o imposibles. El índice de color, como se lo usa en Mount Wilson, es la diferencia entre la llamada magnitud fotográfica (pg) y la magnitud fotovisual (pv.)- la diferencia entre la brillantez de objetos en luz azul-violeta y en amarillo-verde. Para un índice de color negativo (C. I. = pg. - pv. < 0.0) las estrellas son llamadas azules y el tipo espectral correspondiente es B; para estrellas amarillas, como el sol (tipo G), el índice de color es alrededor de +0.8 mag.; para estrellas más rojas (tipos K, M) el índice de color excede una magnitud.

Un resultado temprano del estudio fotográfico de Messier 13 en Mount Wilson fue el descubrimiento de un gran número de índices de color negativos. Similares resultados fueron obtenidos más tarde en otros cúmulos globulares y abiertos, y entre las estrellas de las nubes galácticas. Naturalmente, estos índices de colores negativos en cúmulos han sido tomados sin cuestionamiento para indicar estrellas de tipo B -una suposición que ha sido verificada espectroscópicamente más tarde con los reflectores de Mount Wilson <sup>6</sup>

La existencia de estrellas de tipo B de magnitud 15 en el cúmulo de Hércules parece responder decisivamente la pregunta de su distancia, porque las estrellas B de la vecindad solar son invariablemente gigantes (más de 100 veces más brillantes que el sol, en promedio), y una estrella gigante tal pueden parecer de magnitud 15 solamente si están a más de 30000 años luz de distancia.

Tenemos abundancia de material sobre distancias y magnitudes absolutas de cientos de estrellas B cercanas - hay medidas directas de distancias, así como distancias medias determinadas a partir de movimientos paralácticos, a partir de curvas de luminosidad observadas, a partir de stream motions, y de velocidades radiales combinadas con movimientos propios. Russell, Plummer, Charlier, Eddington, Kapteyn, y otros han trabajado sobre estas estrellas con el resultado universal de encontrarlas gigantes.

El estudio de Kapteyn sobre las estrellas B es un clásico de la astronomía estelar moderna; sus métodos son principalmente los bien probados métodos usados generalmente para estudios de estrellas cercanas. En sus varias listas de estrellas B más del setenta por ciento son más brillantes que magnitud fotográfica absoluta cero <sup>7</sup> y solamente dos entre 424 son más débiles que +3. Este resultado debería ser

<sup>6</sup>Adams y van Maanen publicaron hace varios años las velocidades radiales y espectros de un número de estrellas B en el cúmulo doble de Perseus, Ast. Jour., Albany, N.Y., 27, 1913 (187-188).

<sup>7</sup>las estrellas de tipos B8 y B9 son usualmente tratadas junto con las de tipo A en la discusión estadística; incluso si ellas son incluidas con las B, el 64 por ciento de las magnitudes absolutas de

comparado con los requerimientos mencionados arriba de que las estrellas azules de Messier 13 deberían ser de +5 o más débiles en la media, si la distancia del cúmulo es 3,600 años luz o menos, y ninguna estrella en el cúmulo debería ser más brillante que +3.

Podría hacerse una pregunta en cuanto a la completitud del material usado por Kapteyn y otros, ya que si sólo se estudian las estrellas aparentemente brillantes, las magnitudes absolutas medias pueden ser altas también. Kapteyn, sin embargo, tiene poca duda sobre sus números, y una investigación <sup>8</sup> de la distribución de estrellas de tipo B, basada en el *Henry Draper Catalogue*, muestra que las estrellas B débiles no están presentes en la región de Orión estudiada por Kapteyn.

El censo entre los cúmulos locales parece estar prácticamente completo sin revelar ninguna estrella B tan débil como +5. Pero si el cúmulo de Hércules estuviera no más distante que 3600 años luz, sus estrellas B serían casi tan débiles como el sol, y la uniformidad admitida a través del sistema galáctico (Proposición C) would be gain-said: ya que, cerca de la Tierra, en cúmulos o no, las estrellas B serían gigantes, pero lejos de la Tierra, en todas las direcciones, en las nubes de la Vía Láctea o en cúmulos, ellas serían enanas –y la teoría antropocéntrica podría tomar impulso nuevamente.

Enfaticemos nuevamente que las estrellas azules cercanas y distantes que estamos comparando son todas estrellas de cúmulos, y que no parece haber ningún quiebre marcado en la gradación de los cúmulos, ni en contenido total ni en distancia, desde Orión pasando por los cúmulos débiles hasta Messier 13.

b. *La magnitud absoluta visual máxima de estrellas de cúmulos.*— En varios grupos cercanos y cúmulos el brillo absoluto fotográfico máximo, determinado con medidas directas de paralaje o corrientes de movimiento, o ambos, se sabe que *excede* los siguientes valores:

Sistema	<i>M</i>
Sistema Ursa Major	−1.0
Cúmulo móvil en Perseus	−0.5
Hyades	+1.0
Cúmulo de Escorpio-Centauro	−2.5
Cúmulo de la nebulosa de Orión	−2.5
Pléyades	−1.0
Grupo 61 Cygni	+1.0

No se conoce ningún grupo físico cercano, con la posible excepción de 61 Cygnus drift<sup>9</sup>, en el cual las estrellas más brillantes son más débiles que +1.0. La media *M* de la lista de cúmulos de arriba es -0.8; pero para todos los grupos físicos distantes

---

Kapteyn son más brillantes que cero y solamente el 4 por ciento son más débiles que +2. Ninguna estrella de tipos B8 o B9 más débiles que +3 están en la lista de Kapteyn.

<sup>8</sup>Shapley, H., Proceedings Nat. Acad. Sci., 5, 1900 (434-440); un tratamiento adicional de este problema aparecerá en una salida de Mount Wilson Contribution.

<sup>9</sup>La magnitud absoluta visual de  $\epsilon$  Virginis (espectro G6) es 0.0 de acuerdo con las paralajes espectroscópicas de Mount Wilson gentilmente comunicadas por Mr. Adams.

debe ser +3 o más débil (no obstante la existencia cierta dentro de ellos de variables Cefeidas y estrellas tipo B), si la distancia de Messier 13 es 3,600 años luz o menos. Incluso si la distancia fuera 8,000 años luz, como sugiere Curtis en el siguiente artículo, la media  $M$  necesitaría ser +1.4 o más débil –un valor todavía irreconciliable con observaciones de cúmulos cercanos.

El requerimiento de que las estrellas brillantes en un cúmulo globular deberían ser a lo máximo solamente dos magnitudes más brillantes que nuestro sol es equivalente a decir que en Messier 13 no hay ninguna gigante verdadera entre sus treinta mil o más estrellas. Es esencialmente equivalente, en vista de la Proposición B, a sostener que en los dos o tres millones de estrellas en cúmulos distantes (cerca de medio millón de esas estrellas han sido fotografiadas) no hay una estrella gigante más brillante que magnitud absoluta fotográfica +2. Y recién hemos visto que las medidas directas muestran que todos nuestros cúmulos cercanos contienen tales estrellas gigantes; en verdad, algunos parecen estar compuestos principalmente por gigantes.

Como una prueba adicional de las distancias de los cúmulos globulares, una herramienta especial fue usada con el reflector Hooker. Con un prisma delgado ubicado en el haz convergente inmediatamente antes del foco podemos fotografiar para una estrella (o para cada una de un grupo de estrellas) un pequeño espectro que se extiende no sólo a través de la región azul sino también por el amarillo y el rojo. Usando placas fotográficas preparadas especialmente, sensibles en el azul y el rojo pero relativamente insensibles en el verde–amarillo, los espectros pequeños son divididos en el medio y la intensidad relativa de las partes azules y rojas depende, como es bien conocido, del tipo espectral y la magnitud absoluta; las gigantes y enanas del mismo tipo en el sistema de Harvard de clasificación espectral, muestran espectros marcadamente diferentes. Se conocen los tipos espectrales de cuarenta o cincuenta de las estrellas más brillantes en el cúmulo de Hércules, clasificadas como es usual sobre la base de las líneas espectrales. Usando la herramienta descrita arriba, un número de estas estrellas fue fotografiado lado por lado sobre la misma placa con las gigantes y enanas bien conocidas de la vecindad solar de las cuales las distancias y las magnitudes absolutas dependen de medidas directas de paralajes. Sobre la base de la distancia más pequeña de Messier 13, los espectros de las estrellas de este cúmulo (siendo entonces de magnitud absoluta más débiles que +4) deberían parecerse a los espectros de las enanas. Pero las placas muestran claramente que las estrellas del cúmulo son iguales en brillo absoluto e incluso exceden a las gigantes – un resultado esperado si la distancia es del orden de 36000 años luz.

El procedimiento de más arriba es una variación del método de Adams y sus asociados sobre estrellas más brillantes donde puede alcanzarse suficiente dispersión para permitir la intercomparación fotométricas de líneas espectrales sensitivas. Tan lejos como ha sido aplicado a cúmulos, el método espectroscópico usual justifica la conclusión de arriba de que las estrellas rojas y amarillas en cúmulos son gigantes.

Un argumento sobre el cual Curtis ha insistido mucho es que la magnitud absoluta promedio de las estrellas alrededor del sol es igual o más débil que la brillantez solar, y entonces, que las estrellas promedio que vemos en cúmulos son también enanas. O, puesto en otra forma, él argumenta que puesto que la clase espectral media de un cúmulo globular es del tipo solar y que la estrella de tipo solar promedio cerca del sol es de luminosidad solar, las estrellas fotografiadas en cúmulos globulares



deben ser de luminosidad solar y por lo tanto no distantes. Esta deducción que el sostiene está de acuerdo con la proposición C - uniformidad a través de todo el universo. Pero al bosquejar las conclusiones, Curtis ignora aparentemente, la existencia muy común de estrellas rojas y amarillas gigantes en sistemas estelares, y segundo, la circunstancia mencionada arriba en la Sección 5 que al tratar un sistema externo distante observamos primero naturalmente sus estrellas gigantes. Si el material no es mutuamente extensivo en el dominio solar y en el cúmulo remoto (y ciertamente no lo es para estrellas de todos los tipos), entonces la comparación de promedios significa nada a causa de la obvia y vital selección de estrellas más brillantes en el cúmulo. La comparación debería ser de cúmulos cercanos con cúmulos distantes, o de las luminosidades de los mismos tipos de estrellas en los dos lugares.

Supongamos que un observador, confinado a una pequeña área en un valle intenta medir las distancias a los picos de las montañas de alrededor. A causa de la corta línea de base que se le permite a él, sus paralajes trigonométricas no tienen valor excepto para las colinas más cercanas. Sobre los picos más remotos, su telescopio muestra follaje verde. Primero él supone una uniformidad botánica aproximada a través de todo el territorio visible. Entonces él encuentra que la altura promedio de todas las plantas inmediatamente alrededor de él (coníferas, palmeras, ásteres, tréboles, etc.) es de un pie. Correlacionando este promedio con la altura angular medida de las plantas visibles contra la línea del cielo sobre los picos distantes él obtiene valores de las distancias. Si él, sin embargo, hubiera comparado el follaje sobre los picos cercanos medidos trigonométricamente o hubiera utilizado algún método para distinguir varios tipos florales él no hubiera confundido pinos con ásters y hubiera obtenido resultados erróneos de las distancias de las montañas de los alrededores. Todos los principios involucrados en la paralaje botánica de un pico de montaña tienen sus análogos en la paralaje trigonométrica de los cúmulos globulares.

c. *Variables Cefeidas.*- Estrellas gigantes de otra clase, las variables Cefeidas han sido exhaustivamente usadas en la exploración de cúmulos globulares. Después de determinar el período de una Cefeida, su magnitud absoluta se encuentra fácilmente a partir de la curva período-luminosidad derivada observacionalmente, y la distancia de cualquier cúmulo que contenga tales variables se determina tan pronto como se midan las magnitudes aparentes. Las Cefeidas galácticas y las Cefeidas de cúmulo son estrictamente comparables por la Proposición C –una deducción que está ampliamente justificada por observaciones en Mount Wilson y Harvard, de color, espectro, curvas de luz, y la brillantez relativa a otros tipos de estrellas.

Curtis basa sus fuertes objeciones a una galaxia más grande sobre el uso que yo he hecho de las variables Cefeidas, cuestionando la suficiencia de los datos y la exactitud de los métodos involucrados. Pero yo creo que en el asunto presente no hay mayores razones en trabajar sobre los detalles de las Cefeidas, puesto que somos, si lo elegimos, cualitativamente bastante independientes de ellas para determinar la escala del sistema galáctico, y es sólo sobre los resultados cualitativos que estamos abocados. Podríamos descartar todas las Cefeidas, podríamos usar en su lugar o las estrellas gigantes rojas y los métodos espectroscópicos, o los cientos de estrellas de tipo B sobre las cuales los más capaces astrónomos estelares han trabajado por años, y derivaríamos la misma distancia para el cúmulo de Hércules, y otros cúmulos, y obtendríamos consecuentemente dimensiones similares para el sistema galáctico. En

efecto, los resultados sustantivos a partir de estas otras fuentes fortifican fuertemente nuestra creencia en las suposiciones y métodos involucrados en el uso de las variables Cefeidas.

Puesto que las distancias de los cúmulos dadas por las variables Cefeidas están cualitativamente en excelente acuerdo con las distancias dadas por las estrellas azules y por las gigantes rojas y amarillas, discutidas en las sub secciones siguientes *a* y *b*, me referiré aquí sólo brevemente a cuatro puntos relacionados al problema de las Cefeidas, notando primero que si las distancias de los cúmulos tienen que ser divididas por 10 o 15, el mismo divisor debería ser usado con las distancias derivadas con Cefeidas galácticas.

(1) La magnitud absoluta promedio de las Cefeidas típicas, de acuerdo a mi discusión de movimientos propios y correlaciones de magnitudes, está cerca de  $-2.5$ . El material de movimientos propios ha sido discutido independientemente por Russell, Hertzsprung, Kapteyn, Strömberg, y Seares; todos ellos aceptan la validez del método, y están de acuerdo al obtener la misma magnitud absoluta media que derivó yo. Seares encuentra, además, a partir de una discusión de errores probables y errores sistemáticos posibles, que los movimientos observados son irreconciliables con un brillo absoluto cinco magnitudes más débil, ya que en ese caso el movimiento paraláctico medio de las Cefeidas más brillantes sería del orden de  $0''.160$  en vez de  $0''.016$  a  $0''.002$  como se observa.

Ambas paralajes de Cefeidas galácticas, trigonométricas y espectroscópicas, tanto como han sido determinadas, justifican los valores fotométricos exigiendo mayor luminosidad; los métodos espectroscópico y fotométrico no son totalmente independientes, sin embargo, ya que el cero depende en ambos de los movimientos paralácticos.

(2) Cuando el movimiento paraláctico se usa para inferir magnitudes absolutas provisionales para estrellas individuales (un proceso posible solamente cuando los movimientos peculiares son pequeños y las observaciones son muy buenas), las Cefeidas galácticas más brillantes indican la correlación entre luminosidad y período<sup>10</sup>. La necesidad, sin embargo, de desprestigiar movimientos peculiares individuales y errores de observación para este procedimiento hace que la correlación aparezca mucho menos claramente para las Cefeidas galácticas que para aquellas de sistemas externos (donde los movimientos propios no preocupan), y poca importancia se le podría adjudicar a la curva período–luminosidad si ella estuviera basada sobre Cefeidas locales solas. Cuando los datos adicionales, mencionados abajo, son también tratados de esta manera, la correlación queda prácticamente oscurecida para Cefeidas galácticas debido a los errores observacionales más grandes.

Para considerar la probable uniformidad universal de los fenómenos Cefeidas, necesitamos, sin embargo, conocer solamente el movimiento paraláctico *medio* de las Cefeidas galácticas para determinar el punto cero de la escala que está basada en Cefeidas externas; y los movimientos *individuales* no entran en el problema en absoluto, excepto, como se notó más arriba, para indicar provisionalmente la existencia

---

<sup>10</sup>Mr. Seares ha llamado mi atención a un error al dibujar las magnitudes absolutas provisionales contra el log del período para las Cefeidas discutidas en Mount Wilson Contribution No. 151. La curva preliminar para las Cefeidas galácticas es más empinada que aquella de la Nube Menor de Magallanes, Omega Centauri, y otros cúmulos

de la relación período- luminosidad. Es solamente este movimiento paraláctico *medio* el que han usado otros investigadores para mostrar la excesivamente alta luminosidad de las Cefeidas. Mis magnitudes absolutas y distancias adoptadas para todas estas estrellas han sido basadas sobre la curva final periodo-luminosidad, y no sobre movimientos individuales.

(3) Por gentileza del Profesor Boss y del Señor Roy del Dudley Observatory, han sido remitidos movimientos propios para 21 Cefeidas adicionales a las 13 en el *Preliminary General Catalogue*. El nuevo material es de relativamente bajo peso, pero la discusión no publicada de Stromberg sobre esa porción referida a las estrellas del norte no introduce alteración material sobre el resultado más temprano de los brillos absolutos medios de las Cefeidas.

Debería notarse que las 18 seudo-Cefeidas discutidas por Adams y Joy <sup>11</sup> son sin excepción extremadamente brillantes (magnitudes absolutas en el rango de -1 a -4); ellas son completamente comparables con las Cefeidas galácticas en distribución, características espectrales, y movimiento.

(4) A partir de resultados no publicados, gentilmente comunicados por van Maanen y por Adams, tenemos la siguiente verificación de la gran distancia y alta luminosidad de la importante Cefeida de cúmulo tipo RR Lyrae, de alta velocidad :

Paralaje fotométrica	0".003 (Shapley)
Paralaje trigonométrica	+0".006 ± 0".006 (van Maanen)
Paralaje espectroscópica	0".004 (Adams, Joy, and Burwell)

El gran movimiento propio anual de esta estrella, 0".25, llevó a Hertzsprung hace algunos años a sospechar que la estrella no es distante, y que ella y sus numerosos congéneres en cúmulos son enanas. El gran movimiento propio, sin embargo indica alta velocidad real antes que cercanía como indican los resultados mostrados más arriba. Más recientemente, Hertzsprung ha reconsiderado el problema y, usando variables de cúmulos, ha derivado una distancia del cúmulo globular Messier 3 en esencial acuerdo con mi valor.

d. *Movimiento propio anual hipotético.*-La ausencia de movimientos propios observados para los cúmulos distantes debe ser una indicación de sus grandes distancias a causa de las conocidas altas velocidades en la línea de visión. La velocidad radial promedio de los cúmulos globulares parece ser de alrededor de 150 km/seg. Suponiendo, como es usual, una distribución de velocidades al azar, el movimiento transversal de Messier 13 y cúmulos globulares de brillo similar debería ser mayor que el bastante apreciable valor de 0".04 por año si la distancia es menos de 3600 años luz. Ningún movimiento propio ha sido encontrado para cúmulos distantes; Lundmark buscó en este sentido particularmente para cinco sistemas y concluye que el movimiento propio anual es menos de 0".01.

7. Sumaricemos unos pocos de los resultados de aceptar la escala restringida del sistema galáctico.

Si la distancia de los cúmulos globulares tuviera que ser decrecida a un décimo, el poder emisor de luz de sus estrellas puede ser solamente un centésimo del de

<sup>11</sup>Adams, W. S., y A. H. Joy, Publ. Ast. Soc. Pac., San Francisco, Calif., 31, 1919 (184-186)

las estrellas de los mismos tipos espectrales y fotométricos del cúmulo local<sup>104</sup>. Como consecuencia, yo creo que la iluminadora teoría de la evolución de los tipos espectrales de Russell tendría que ser largamente abandonada, y la brillante teoría de Eddington de las estrellas gigantes gaseosas tendría que ser muy modificada o desechada enteramente. Ahora estas dos teorías modernas tienen su justificación, primero, en la naturaleza fundamental de sus conceptos y postulados, y segundo, en sus grandes éxitos para ajustar los hechos observacionales.

De la misma manera, la ley período–luminosidad de la variación de las Cefeidas podría no tener significado; las investigaciones de Kapteyn sobre la estructura del cúmulo local necesitarían una nueva interpretación porque sus leyes de luminosidad podrían ser aplicadas en forma local pero no en general; y una pérdida muy seria para la astronomía sería la de la generalidad de los métodos espectroscópicos para determinar distancias estelares, por cuanto indicaría que características espectrales idénticas indican estrellas que difieren en brillo como 100 a 1, dependiendo solamente de si la estrella está en la vecindad solar o en un cúmulo distante.

### 1.3. Las dimensiones y disposición del sistema galáctico

Cuando aceptamos el punto de vista de que la distancia del cúmulo de Hércules es tal que sus fenómenos estelares son armónicos con los fenómenos estelares locales –sus estrellas brillantes típicamente gigantes, sus Cefeidas comparables con las nuestras– entonces sigue que los cúmulos globulares más débiles, más pequeños, están todavía más distantes que 36000 años luz. Un tercio de los que son conocidos están más distantes que 100000 años luz; el más distantes está a más de 200000 años luz de distancia, y el diámetro del sistema completo de cúmulos globulares es de alrededor de 300000 años luz.

Ya que la asociación de los cúmulos globulares con la galaxia está demostrada por su concentración hacia el plano de la Vía Láctea y su distribución simétrica con respecto a él, se sigue que el sistema galáctico de estrellas es tan grande también como esta parte subordinada. Durante el año pasado hemos encontrado variables Cefeidas y otras estrellas de alta luminosidad entre las estrellas de magnitud quince de las nubes galácticas; esto solamente puede indicar que algunas partes de las nubes están más lejos que el cúmulo de Hércules. Parece haber una buena razón, por lo tanto, para creer que las regiones pobladas de estrellas del sistema galáctico se extienden al menos tan lejos como los cúmulos globulares.

Una consecuencia de aceptar la teoría de que los cúmulos bosquejan la forma y extensión del sistema galáctico, es que el sol se encuentra muy distante del medio de la galaxia. Parece que no estamos lejos de un gran cúmulo local o nube, pero esa nube está al menos a 50000 años luz del centro galáctico. Hace veinte años Newcomb remarcó que el sol *parece* estar en el plano galáctico porque la Vía Láctea es un círculo máximo –una banda circular de luz– y que el sol también *parece* estar cerca del centro del universo porque la densidad estelar cae en todas las direcciones. Pero él concluyó como sigue:

*Ptolomeo mostró por evidencias, las que, según su punto de vista, parecían tan profundas como esas a las cuales hemos citado, que la Tierra estaba fija en el centro del universo. ¿No podemos ser víctimas de alguna falacia como lo fue él?*

Nuestra respuesta presente a la pregunta de Newcomb es que hemos sido victimizados por los métodos de medición de distancias y por la posición casual del sol cerca del centro de un sistema subordinado; hemos sido mal guiados por los fenómenos consecuentes, a pensar que estamos en el medio de las cosas. Muy en la misma forma, el hombre antiguo fue mal llevado por la rotación de la Tierra, con el consecuente movimiento diario aparente de todos los cuerpos celestes alrededor de la Tierra, a creer que, incluso este pequeño planeta, era el centro del universo y que sus dioses terrenales creaban y juzgaban todo.

Si el hombre hubiera alcanzado su presente posición intelectual en una era geológica más tardía, no hubiera sido llevado a estos vanos conceptos respecto de su posición en el universo físico, puesto que el sistema solar está apartándose rápidamente del plano galáctico, y está alejándose del centro del cúmulo local. Si ese movimiento permaneciera inalterado en cantidad y dirección, en cien millones de años o algo así la Vía Láctea será muy diferente de una banda circular de nubes de estrellas, el cúmulo local será un objeto distante y la densidad estelar no decrecerá más en todas las direcciones con la distancia a partir del sol.

Otra consecuencia sobre la conclusión de que el sistema galáctico es del orden de 300000 años en su diámetro más grande, es la dificultad mencionada previamente que le produce a la teoría de la “galaxia comparable” de las nebulosas espirales. No voy a desarrollar una descripción y discusión sobre este problema debatible. Ya que probablemente la teoría se sostiene o cae con la hipótesis de un sistema galáctico pequeño, hay poca sustancia en discutir otro material sobre este aspecto, especialmente en vista de las rotaciones de las nebulosas espirales medidas recientemente que parecen fatales para tal interpretación.

Me parece a mí que la evidencia, más que las pruebas admitidamente críticas que dependen del tamaño de la galaxia, es opuesta a la visión de que las espirales son galaxias de estrellas comparables con la nuestra. En efecto, todavía no hay razón para modificar la hipótesis tentativa de que las espirales no están compuesta por estrellas típicas en absoluto, sino que son objetos realmente nebulosos. Tres resultados muy recientes son, creo yo, seriamente diferentes para la teoría de que las nebulosas espirales son galaxias comparables - (1) La deducción de Seares de que ninguna de las nebulosas espirales conocidas tiene un brillo superficial tan pequeño como el de nuestra galaxia; (2) El estudio de Reynold de la distribución de luz y color en espirales típicas, a partir del cual él concluye que no pueden ser sistemas estelares; y (3) las recientes medidas de rotación de van Maanen<sup>105</sup> en la espiral M 33, corroborando su trabajo anterior sobre Messier 101 y 81, e indicando que estas espirales brillantes no pueden ser razonablemente los objetos excesivamente distantes que requiere la teoría.

Pero incluso si las espirales no fueran como un sistema galáctico, podría haber en algún lugar del espacio sistemas estelares iguales o mayores que el nuestro – todavía no reconocidos y posiblemente muy lejos del poder de las herramientas ópticas existentes y las presentes escalas de mediciones. El telescopio moderno, sin embargo, con accesorios tales como espectroscopios de alto poder e intensificadores fotográficos, está destinado a extender las preguntas relativas al tamaño del universo mucho más profundo dentro del espacio y contribuir además al problema de otras galaxias.

## Parte II

# Heber Curtis

## 2. Dimensiones y estructura de la galaxia

*Definición de las unidades empleadas.*- La distancia atravesada por la luz en un año,  $9.5 \times 10^{12}$  km., o aproximadamente seis trillones de millas, conocida como año luz, ha estado en uso por casi doscientos años como el medio de visualizar distancias estelares y conforma una unidad conveniente y fácilmente comprensible. A través de todo este artículo las distancias de las estrellas serán expresadas en años luz.

La magnitud *absoluta* de una estrella se necesita frecuentemente de manera que podamos comparar las luminosidades de diferentes estrellas en términos de alguna unidad común. Esa es la magnitud *aparente* que tendría una estrella si la viéramos desde una distancia estándar de 32.6 años luz (correspondiente a una paralaje de  $0''.1$ ).

Conociendo la paralaje, o la distancia, de una estrella, la magnitud absoluta puede ser computada por una de las simples ecuaciones:

$$\text{Magn. abs.} = \text{Magn. ap.} + 5 + 5 \times \log (\text{paralaje en seg. de arco})$$

$$\text{Magn. abs.} = \text{Magn. ap.} + 7.6 - 5 \times \log (\text{distancia en años luz})$$

*Limitaciones en estudios de dimensiones galácticas.* - Las distancias de las estrellas pueden ser determinadas con considerable exactitud por métodos directos hasta una distancia de doscientos años luz.

A una distancia de trescientos años luz ( $28 \times 10^{14}$  km.) el radio de la órbita de la Tierra ( $1.5 \times 10^8$  km) subtiende un ángulo ligeramente mayor de  $0''.01$ , y el error probable de las más modernas determinaciones de paralajes fotográficas no ha sido reducido materialmente por debajo de este valor todavía. El método espectroscópico de determinar distancias estelares a través de la magnitud absoluta tiene, al presente, las mismas limitaciones que el método trigonométrico del cual depende el método espectroscópico para su escala absoluta.

Se ha empleado un número de métodos indirectos que extienden nuestro alcance en el espacio, de algún modo, más lejos que las distancias promedio de grandes grupos o clases de estrellas, pero que no dan información en cuanto a las distancias individuales de las estrellas de los grupos o clases. Entre estos métodos podemos mencionar como más importantes las varias correlaciones que han sido hechas entre los movimientos propios de las estrellas y el movimiento paraláctico debido a la velocidad de nuestro sol en el espacio, o entre los movimientos propios y las velocidades radiales de las estrellas.

Las limitaciones de tales métodos de correlación dependen, al presente, del hecho que se conocen movimientos propios exactos, en general, para las estrellas más brillantes solamente. Un movimiento de 20 km/seg a través de nuestra línea de visión producirá los siguientes movimientos propios anuales:

El error medio probable de los movimientos propios de Boss es alrededor de

Distancia	100 a.l.	500 a.l.	1000 a.l.
Mov. Prop.Anua	10" .14	0" .03	0" .01

0" .006. Tales métodos de correlación no son, asimismo, una cuestión simple de comparación de valores, sino que son difíciles de producir y a alguna extensión inciertos por las problemáticas complejidades acarreadas por la variación de los movimientos espaciales de las estrellas con los tipos espectrales, la masa estelar (?), la luminosidad estelar (?), y factores todavía imperfectamente conocidos como el de la corriente de estrellas<sup>100</sup>.

Será entonces evidente que la línea de base disponible en los estudios de las más distantes regiones de nuestra galaxia es lamentablemente corta, y que en tales estudios debemos depender largamente de investigaciones de la distribución y de la frecuencia de ocurrencia de estrellas de diferentes magnitudes aparentes y tipos espectrales, sobre la suposición de que las estrellas más distantes, tomadas en grandes números, promediarán casi lo mismo que las estrellas conocidas más cercanas. Esta suposición es razonable pero no necesariamente correcta, ya que tenemos poco conocimiento cierto de regiones galácticas tan distantes como quinientos años luz.

Fueran todas las estrellas de aproximadamente la misma magnitud absoluta, o si esto fuera verdad incluso para estrellas de cualquier tipo o clase particular, el problema de determinar el orden general de las dimensiones de nuestra galaxia sería comparativamente sencillo.

Pero el problema es complicado por el hecho que, tomando las estrellas de todos los tipos espectrales juntas, la dispersión en luminosidad absoluta es muy grande. Incluso con la exclusión de un pequeño grupo de estrellas que son excepcionalmente brillantes o débiles, esta dispersión alcanza probablemente diez magnitudes absolutas, que corresponderían a una incerteza de unas cien veces en la distancia de una estrella dada. Sin embargo, se verá más tarde que poseemos información moderadamente definitiva en cuanto a las magnitudes absolutas *promedio* de las estrellas de diferentes tipos espectrales.

*Dimensiones de nuestra galaxia.*- Los estudios de la distribución de las estrellas y de la razón entre los números de estrellas de magnitudes aparentes sucesivas han llevado a un número de investigadores a la postulación de dimensiones bastante concordantes de la galaxia; unas pocas pueden ser acotadas:

Wolf; cerca de 14000 años luz de diámetro.

Eddington; cerca de 15000 años luz.

Shapley (1915); cerca de 20000 años luz.

Newcomb; no menos de 7000 años luz; más tarde -quizá 30000 años luz de diámetro y 5000 años luz de espesor.

Kapteyn; cerca de 60000 años luz <sup>12</sup>

*Estructura general de la galaxia.*- A partir de las líneas de investigación mencionadas arriba ha habido un acuerdo general similar en los resultados deducidos en cuanto

<sup>12</sup>Una bibliografía completa sobre este punto llenaría varias páginas. De acuerdo con ello, las referencias a las autoridades serán omitidas en general. Una lista excelente y casi completa de referencias puede encontrarse en el artículo de "The Relations of the Globular Clusters and Spiral nebulae to the Stellar System" in K. Svenska Vet. Handlingar, Bd. 60, No. 8, p. 71, 1920.

a la forma y estructura de la galaxia:

1. No hay un número infinito de estrellas ni son de distribución uniforme.
2. Nuestra galaxia delimitada por el contorno proyectado de la Vía Láctea, contiene posiblemente mil millones de soles.
3. Esta galaxia se parece mucho a una lente, o a un delgado reloj, siendo el espesor menos de un sexto del diámetro.
4. Nuestro sol está bastante cerca del centro de la figura de la galaxia.
5. Las estrellas no están distribuidas uniformemente a través de la galaxia. Una gran proporción están probablemente dentro de una estructura de anillo sugerida por la apariencia de la Vía Láctea, o están dispuestas en grandes e irregulares regiones de la mayor densidad estelar. El autor cree que la Vía Láctea es al menos tanto un efecto estructural como un efecto de profundidad.

Para nuestra galaxia se ha sugerido una estructura espiral; la evidencia de una estructura espiral tal no es muy fuerte, excepto que puede ser justificada por la analogía de las espirales como “universos islas”, para una estructura tal no es ni imposible ni improbable. La posición de nuestro sol cerca del centro de figura de la galaxia no es una posición favorable para la determinación precisa de las estructura galáctica real.

*Relativa paucidad de los géneros galácticos.*- El mero tamaño no implica necesariamente complejidad; es un hecho remarcable que en una galaxia donde observamos un millón de objetos no hay diez mil tipos diferentes sino quizá no más de cinco clases principales fuera de los fenómenos menores de nuestro propio sistema solar.

1. *Las estrellas.* -La primera y más importante clase está formada por las estrellas. De acuerdo con el tipo de espectro exhibido, podemos dividir a las estrellas algo así como ocho o diez tipos principales; incluso cuando incluimos las gradaciones interna consecutivas dentro de esas clases espectrales es dudoso que los métodos presentes nos permitan distinguir tanto como cien subdivisiones separadas en absoluto. Las velocidades espaciales promedio varían desde 10 a 30 km/seg., habiendo un bien marcado incremento en la velocidad especial a medida que uno va desde las estrellas más azules a las más rojas.

2. *Los cúmulos estelares globulares* son agregados enormemente condensados de diez mil a cien mil estrellas. Quizá cien conocidos. Aunque bastante irregulares en su agrupamiento, ellos son vistos como definitivamente galácticos en distribución. Las velocidades espaciales son del orden de 300 km/seg.

3. *Las nebulosas difusas* son enormes, tenues, masas de forma de nube; claramente numerosos; siempre galácticos en distribución. Ellas frecuentemente muestran un espectro gaseoso, aunque muchas coinciden en el espectro con sus estrellas involucradas. Las velocidades espaciales son muy bajas.

4. *Las nebulosas planetarias* son pequeñas, redondas u ovales, y casi siempre con una estrella central. Menos de ciento cincuenta son conocidas. Son galácticas en distribución; el espectro es gaseoso; las velocidades espaciales son de alrededor de 80 km/seg.

5. *Las espirales*- Quizá un millón están dentro del alcance de los grandes reflectores; el espectro es generalmente igual a aquél de un cúmulo estelar. Son enfáticamente, objetos no galácticos en distribución, agrupados en torno a los polos galácticos, espirales en su forma. Las velocidades espaciales son del orden de 1200 km/seg.

*Distribución de géneros celestes.*- Con una, y sólo una, excepción, todos los géneros conocidos de objetos celestes muestran una distribución tal con respecto al plano de nuestra Vía Láctea, que no puede haber duda razonable que todas las clases, excepto esta última (las espirales), son miembros integrales de nuestra galaxia. Vemos que todas las estrellas, típicas, binarias, variables, o temporarias, incluso los tipos más raros, muestran esta inconfundible concentración hacia el plano galáctico. De igual manera las nebulosas difusas y las planetarias y, aunque de algún modo menos definitivamente, los cúmulos estelares globulares.



La única excepción son las espirales; agrupadas cerca de los polos de nuestra galaxia, parecen aborrecer las regiones de mayor densidad estelar. Claramente ellas parecen una clase aparte. *Nunca* encontrados en nuestra Vía Láctea no hay otra clase de objetos celestes con sus características distintivas de forma, distribución, y velocidad espacial.

La evidencia disponible al presente apunta fuertemente a la conclusión de que las espirales son galaxias individuales, o universos islas, comparables con nuestra propia galaxia en dimensiones y en un número de unidades componentes. Mientras que la teoría de las espirales no es un postulado vital en una teoría de dimensiones galácticas, sin embargo, a causa de su sostenimiento indirecto de la cuestión, los argumentos a favor de la hipótesis de universos islas serán incluidos con aquellos que tocan más directamente a las dimensiones probables de nuestra propia galaxia.

*Otras teorías de las dimensiones galácticas.* - De la evidencia que será referida al final, el Dr. Shapley ha deducido distancias muy grandes para los cúmulos globulares de estrellas, y mantiene que nuestra galaxia tiene un diámetro comparable con las distancias que él ha derivado para los cúmulos, principalmente, un diámetro de 300000 años luz, o al menos diez veces más grande que el aceptado anteriormente. Los postulados de las dos teorías pueden ser bosquejados como sigue:

### Teoría actual

Nuestra galaxia tiene probablemente no más de 30000 años luz de diámetro, y quizá 5000 años luz de espesor. Los cúmulos y todos los otros tipos de objetos celestes excepto las espirales, son partes componentes de nuestro propio sistema galáctico. Las espirales son clase aparte, y no objetos intra galácticos. Como “universo islas”, del mismo orden de tamaño que nuestra galaxia, ellas están distantes de nosotros 500000 a 10000000 o más de años luz.

### Teoría de Shapley

La galaxia tiene un diámetro de 300000 años luz aproximadamente, y 30000 años luz o más de espesor. Los cúmulos globulares son objetos remotos, pero parte de nuestra propia galaxia. El cúmulo más distantes está a 220000 años luz de distancia. Las espirales son probablemente de constitución nebulosa, y posiblemente, no miembros de nuestra propia galaxia, llevadas hacia afuera desde las regiones de más densidad estelar.

## 2.1. Evidencia construída por las magnitudes de las estrellas

*La estrella “promedio”*.- Será ventajoso considerar las dos teorías de las dimensiones galácticas desde el punto de vista de una estrella promedio. ¿Cuál es el “promedio” o tipo de estrella más frecuente de nuestra galaxia o de un cúmulo globular, y si podemos con alguna probabilidad postular tal estrella promedio, que mantenida sostendrá características en torno a la cuestión de su distancia promedio desde nosotros?

No hay ninguna evidencia disponible adecuada de que las estrellas más distantes de nuestra galaxia sean de alguna manera esencialmente diferentes de las estrellas de distancia conocida más cercanas a nosotros. Parecería entonces que podemos con seguridad hacer tales correlaciones entre las estrellas más cercanas y las más distantes, en masa. En tales comparaciones las limitaciones de los tipos espectrales

deben ser observadas tan rígidamente como sea posible, y los resultados basados sobre pequeños números de estrellas deben ser evitados, si es posible.

Muchas investigaciones indican, notoriamente las investigaciones del estudio de los colores de las estrellas en los cúmulos globulares de Shapley, y los espectros integrados de Fath de los espectros integrados de estos objetos y de la Vía Láctea, que la estrella promedio de un cúmulo estelar o de la Vía Láctea será, en la gran mayoría de los casos, iguales a nuestro sol en tipo espectral, i. e., una estrella promedio tal estará, en general, entre los tipos espectrales F y K.

*Características de las estrellas de tipo F-K de distancia conocida.*- Las distancias de las estrellas de los tipos F-K en nuestra vecindad han sido determinados en mayor número, quizá, que para las estrellas de cualquier otro tipo espectral, de manera que la magnitud absoluta promedio de las estrellas de este tipo parece bastante bien determinada. Hay una razón siempre para creer, sin embargo, que nuestra selección de estrellas de estos u otros tipos para determinaciones directas de distancia no ha sido una selección representativa. Nuestros programas de paralajes tienen una tendencia a seleccionar estrellas o de gran luminosidad o de gran velocidad espacial.

Los valores de Kapteyn de las magnitudes absolutas promedio de las estrellas de varios tipos espectrales son como sigue:

Tipo	Mag. Abs. promedio
B5	+1.6
A5	+3.4
F5	+7
G5	+10
K5	+13
M	+15

La más reciente curva luminosidad-frecuencia del mismo investigador ubica el máximo de frecuencia de las estrellas en general, tomando todos los tipos espectrales juntos, en magnitud absoluta +7.7.

Una tabulación reciente de casi quinientas modernas paralajes determinadas fotográficamente ubica la magnitud absoluta promedio de las estrellas de tipos F-K en alrededor de +4.5.

La magnitud absoluta promedio de quinientas estrellas de tipos espectrales F a M determinada espectroscópicamente por Adams está próxima a +4.

Parece cierto que los dos últimos valores de las magnitudes absolutas promedio son demasiado bajas, esto es, indican un valor demasiado alto de la luminosidad promedio, debido a la omisión de nuestros programas de paralajes de las estrellas intrínsecamente más débiles. Las magnitudes absolutas de las estrellas enanas están en general bastante bien exactamente determinadas; las magnitudes absolutas de muchas de las estrellas gigantes dependen de pequeñas e inciertas paralajes. En vista de estos hechos podemos tentativamente de algún modo tomar la magnitud absoluta promedio de las estrellas F-K de distancia conocida como no más brillantes que +6; algunos investigadores preferirían un valor de +7 u +8.

*Comparación de estrellas de la Vía Láctea con las estrellas "promedio".*- Podemos

tomar, sin errores serios, las distancias de 10000 y 100000 años luz respectivamente, como representando la distancia en dos teorías desde nuestro punto en el espacio a la línea central de la estructura de la Vía Láctea. Entonces, puede prepararse la siguiente tabla corta:

Magnitudes aparentes	Magnitudes absolutas	
	10000 años luz	100000 años luz
10	-2.4	-7.4
12	-0.4	-5.4
14	+1.6	-3.4
16	+3.6	-1.4
18	+5.6	+0.6
20	+7.6	+2.6

Se verá de la tabla de arriba que las estrellas de magnitud aparente 16 a 20, observadas en la estructura de nuestra Vía Láctea en números tan grandes, y, a partir de su espectro creídas que son predominantemente de tipos F–K, tienen esencialmente la misma magnitud absoluta que las estrellas cercanas conocidas de esos mismos tipos, si suponemos que están a la distancia promedio de 10000 años luz. El mayor valor postulado para las dimensiones galácticas requiere, por otra parte, una enorme proporción de estrellas gigantes.

*Proporción de estrellas gigantes entre las estrellas de distancia conocida.*- Toda evidencia existente indica que la proporción de estrellas gigantes en una región dada del espacio es muy pequeña. Como bastante representativo de varias investigaciones podemos acotar los resultados de Schouten, en los cuales él deriva una densidad estelar promedio de 166000 estrellas en un cubo de 500 años luz de lado, siendo la distribución de magnitudes absolutas como sigue:

Mag. Abs.	No. de estrellas	Porcentaje Relativo
-5 a -2	17	0.01
-2 a +1	760	0.5
+1 a +5	26800	16
+5 a +10	138600	83

*Comparación de las estrellas de los cúmulos globulares con la “estrella promedio”.*- A partir de un estudio, más o menos conducente, de los negativos de diez cúmulos representativos yo estimo la magnitud visual aparente promedio de todas las estrellas de estos cúmulos como cercana a dieciocho. Instrumentos más poderosos pueden eventualmente indicar un valor de algún modo más débil, pero no parece probable que este valor tenga dos magnitudes de error. Entonces tenemos:

Aquí vemos otra vez que la estrella promedio F–K de un cúmulo, si se la supone a una distancia de 10000 años luz, tiene una luminosidad promedio cercana a la encontrada para las estrellas conocidas más próximas de este tipo. La mayor distancia promedio de 100000 años luz requiere una proporción de estrellas gigantes

Mag. Aparentes	Mag. absolutas	
	10000 a. l.	100000 a. l.
18	+5.6	+0.6

enormemente superior a la que se encuentra en aquellas regiones de la galaxia de las cuales tenemos datos de distancia bastante buenos.

En tanto que no es imposible que los cúmulos sean regiones excepcionales del espacio y que, con una tremenda concentración espacial de soles, exista también una concentración única de estrellas gigantes, la hipótesis de que los cúmulos de estrellas son, como un todo, iguales a aquellos de distancias conocidas parece inherentemente la más probable.

Parecería también que las dimensiones galácticas deducidas de correlaciones entre grandes números de lo que podemos llamar las estrellas promedio toman procedencia a partir de valores encontrados para pequeños números de objetos excepcionales, y que, donde las deducciones desacuerdan tenemos derecho a exigir que una teoría basada sobre una clase excepcional de objetos no falle al dar una adecuada explicación del objeto usual o clase.

*La evidencia de dimensiones galácticas mayores.*- Los argumentos por un diámetro de nuestra galaxia mucho mayor que los sostenidos hasta ahora, y las objeciones que se han levantado contra la teoría de “universos islas” de las espirales, reposan principalmente sobre las grandes distancias que han sido deducidas a partir de los cúmulos estelares globulares.

Soy incapaz de aceptar la hipótesis de que los cúmulos globulares están a distancias del orden de 100000 años luz, sintiendo que mucha más evidencia se necesita sobre este punto antes de que sea justificable suponer que los cúmulos de estrellas están compuestos predominantemente por estrellas gigantes más que por estrellas promedio. Estoy también influido, quizá indebidamente, por ciertas incertezas fundamentales en los datos empleados. Las limitaciones del espacio disponible para la publicación de esta porción de la discusión desafortunadamente impide un tratamiento total de la evidencia. Al llamar la atención a algunas de las incertezas en los datos de base, yo debo negar cualquier espíritu de crítica capciosa, y tomo esta ocasión para expresar mi respeto por el punto de vista del Dr. Shapley, y mi mayor aprecio por extremadamente valioso trabajo que él ha hecho sobre cúmulos. Tengo la voluntad de aceptar las correlaciones entre las grandes masas de datos estelares, sean de magnitudes, velocidades radiales, o movimientos propios; pero yo creo que la dispersión en características estelares es demasiado grande para permitir el uso de cantidades limitadas de cualquier tipo de datos, particularmente cuando tales datos son del mismo orden de los probables errores de los métodos de observación.

Las deducciones en cuanto a las distancias muy grandes de los cúmulos globulares reposan, en el análisis final, sobre tres líneas de evidencia:

1. Determinación de las distancias relativas de los cúmulos sobre la suposición de que ellos son objetos del mismo orden de tamaño real.
2. Determinación de las distancias absolutas a través de las correlaciones entre estrellas variables Cefeidas en los cúmulos y en nuestra galaxia.
3. Determinación de las distancias de los cúmulos a través de la comparación de sus estrellas

más brillantes con las estrellas más brillantes de nuestra galaxia.

De estos tres métodos Shapley le da más peso al segundo.

Parece razonable suponer que los cúmulos globulares son del mismo orden de tamaño real, y que a partir de sus diámetros aparentes se pueden determinar las distancias relativas. El escritor no pondría, sin embargo, énfasis indebido sobre esta relación. No parecería haber una buena razón por qué no podría existir entre estos objetos una razonable cantidad de diferencia en el tamaño real, digamos de tres a cinco veces; diferencias que no les impediría ser vistos como del mismo orden de tamaño, pero que podrían introducir considerable incerteza entre las estimaciones de distancia relativa.

*La evidencia a partir de las estrellas variables Cefeidas.* -Esta porción de la teoría de Shapley descansa sobre las siguientes tres hipótesis o líneas de evidencia:

A. Hay una ajustada coordinación entre la magnitud absoluta y la longitud del período de las variables Cefeidas de nuestra galaxia similar a la relación descubierta por Miss Leavitt entre las Cefeidas de la Nube Magallánicas más pequeña.

B. Que, si de idénticos períodos, las Cefeidas en cualquier parte del universo tienen idénticas magnitudes absolutas.

C. Esta coordinación de la magnitud absoluta y longitud del período de las Cefeidas galácticas, la derivación de la escala de magnitud absoluta para sus distancias y las distancias de los cúmulos, y, combinada con A) y B), las deducciones a partir de allí en cuanto a las mucho mayores dimensiones de nuestra galaxia, dependen casi enteramente sobre las relaciones internas y el valor de los movimientos propios de once estrellas variables Cefeidas.

Bajo el primer encabezamiento se verá más tarde que la evidencia actual para una coordinación tal entre Cefeidas galácticas es muy débil. Probado que la Nube Menor de Magallanes no es, de alguna manera, una región única del espacio, la conducta de las variables Cefeidas en esta nube es, por analogía, quizá el más fuerte argumento para postular un fenómeno similar entre las Cefeidas variables de nuestra galaxia.

Desafortunadamente hay una gran dispersión en prácticamente todas las características de las estrellas. Que las Cefeidas no muestren una cantidad razonable de tal dispersión es contrario a toda experiencia con estrellas en general. Hay muchos que verán la suposición hecha arriba bajo B) como muy drástica.

Si tabulamos los movimientos propios de estas once Cefeidas, dados por Boss, y sus errores probables también, se verá que el movimiento propio promedio de estas once estrellas es del orden de un segundo de arco por siglo en cada coordenada; que el error medio probable es casi la mitad de esta cantidad y que el error probable de la mitad de estas veintidós coordenadas puede ser bien descrito como del mismo tamaño de los correspondientes movimientos propios.

Las ilustraciones que mantienen la incertezas de los movimientos propios del orden de  $0''.01$  por año podrían ser multiplicadas en gran extensión. Los errores fundamentales e inevitables en nuestras posiciones estelares, los probables errores de las observaciones meridianas, la incertezas en el valor adoptado de la constante de precesión, las incertezas introducidas por las correcciones sistemáticas aplicadas a los diferentes catálogos, todas ellas tienen comparativamente poco efecto cuando se hace uso de movimientos propios tan grandes como diez segundos de arco por

siglo. Los movimientos propios tan pequeños como un segundo de arco por siglo son, sin embargo, cantidades todavía altamente inciertas, enteramente aparte de la cuestión de la posible existencia de errores sistemáticos. Como una ilustración de las diferencias en tales pequeños movimientos propios derivados por varias autoridades, los movimientos propios de tres de los mejores determinadas de esta lista de once Cefeidas, determinados por Auwers, están en diferentes cuadrantes que aquellos derivadas por Boss.

No hay una buena razón al por qué las coordenadas más pequeñas de esta lista de veintidós no puedan ser eventualmente diferentes por una o dos veces respecto de sus presentes magnitudes, con ocasionales cambios de signo. De modo que una cantidad pequeña de datos presumiblemente inciertos es insuficiente para determinar la escala de nuestra galaxia, y mucho preferirán esperar material adicional antes de aceptar tales evidencias como conclusivas.

En vista de:

1. Las incertezas conocidas de los movimientos propios pequeños, y,
2. La magnitud conocida de los movimientos puramente al azar de las estrellas, la determinación de paralajes *individuales* a partir de movimientos propios *individuales* nunca pueden dar resultados de valor, aunque las distancias promedio aseguradas por tales métodos de correlación de números grandes de estrellas son aparentemente creíbles. El método no puede ser visto como un método válido y esto se aplica si los movimientos propios son pequeños o son de tamaño apreciable.

Tanto como concierne a las Cefeidas galácticas, la curva de Shapley de coordinación entre magnitud absoluta y longitud de período, aunque encontrada por medio de la magnitud absoluta media del grupo de once, reposa en realidad sobre paralajes individuales determinadas a partir de movimientos propios individuales, como puede ser verificado comparando sus valores de la paralaje de estas once estrellas <sup>12</sup> con los valores encontrados directamente de la componente upsilon del movimiento propio (esencialmente esa componente que es paralela al movimiento del sol) y del movimiento solar. Las diferencias en los dos conjuntos de valores,  $0''.0002$  en la media, viene del más elaborado sistema de pesos utilizado.

La prueba final de una relación funcional es el acuerdo que se obtiene cuando se lo aplica a datos que no fueron usados originalmente para deducir la relación. Debemos estar preparados para permitir alguna cantidad de desviación en una prueba tal, pero cuando una considerable proporción de los otros datos disponibles fracasa en lograr un acuerdo dentro de una cantidad razonable, deberemos justificar el mantenimiento de nuestra decisión.

Si la curva de correlación deducida por Shapley para las Cefeidas galácticas es correcta en escala absoluta y relativa, y si es posible determinar distancias individuales a partir de movimientos propios individuales, la curva de correlación, usando el mismo método tanto como concierne a los movimientos propios (la validez del cual yo no admito), debería ajustar bastante bien con los otros datos de paralajes y movimientos propios. Las paralajes directamente determinadas son conocidas para cinco de este grupo de once, y para otras cinco Cefeidas. Hay además otras veintiséis Cefeidas para las que se determinaron movimientos propios. Una de ellas fue

---

<sup>12</sup>Mt. Wilson Contr. No. 151, Table V.

omitida por Shapley a causa de irregularidad en el período, una por irregularidad en la curva de luz, dos porque los movimientos propios fueron juzgados de exactitud insuficiente, dos porque los movimientos propios eran anormalmente grandes; los movimientos propios de las otras han sido investigados en el Dudley Observatory recientemente, pero tienen menos peso que aquellas de las once Cefeidas usadas por Shapley.

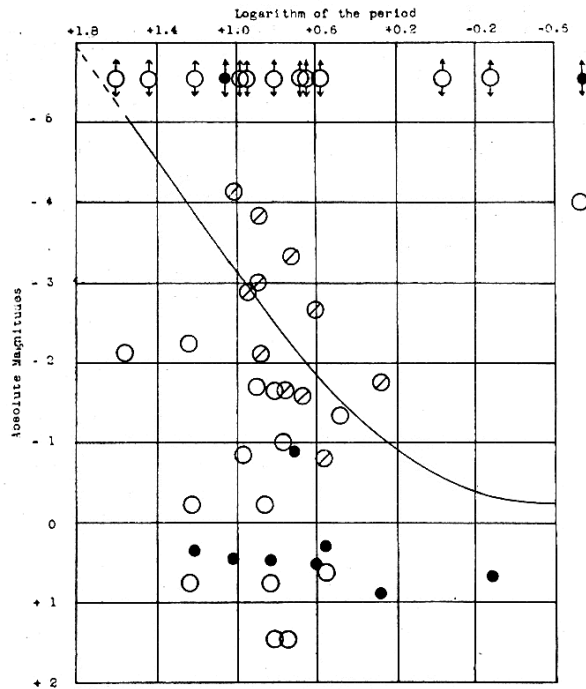


Figura 5: Acuerdo de otros datos con la curva de correlación período- luminosidad. Las magnitudes absolutas calculadas a partir de la componente  $\epsilon$  del movimiento propio están indicadas por círculos; las once empleadas por Shapley están marcadas con una barra. Los puntos negros representan paralajes determinadas directamente. Las flechas adjuntadas a los círculos en el extremo superior del diagrama indican que o la paralaje o la componente  $\epsilon$  del movimiento propio es negativa, y la magnitud absoluta es indeterminada en consecuencia.

En la Figura 1 las magnitudes absolutas están dibujadas contra el logaritmo del período; la curva está tomada de Mt. Wilson Contr. No. 151, y es la que finalmente adoptó Shapley después de la introducción de casi doce Cefeidas de largo período en cúmulos, veinticinco de la Nube Magallánica menor, y un gran número de variables tipo cúmulo de período corto en cúmulos con períodos menores a un día, que tienen poco efecto sobre la forma general de la curva. Los círculos barreados representan las once Cefeidas galácticas empleados por Shapley, los puntos negros aquellas Cefeidas para las que se determinaron paralajes, mientras que los círculos abiertos indican variables para las que han estado disponibles movimientos propios desde entonces, o no empleadas originalmente por Shapley. Para las estrellas del borde superior del diagrama, las flechas adjuntadas indican que o la paralaje o la componente  $\epsilon$  del movimiento propio es negativa, de manera que la magnitud absoluta

está indeterminada, y puede ser cualquier cosa desde infinito para abajo.

De lo de arriba parecería que los datos observacionales disponibles prestan poco soporte al hecho de la relación período luminosidad entre Cefeidas galácticas. En vista de las grandes discrepancias mostradas por otros miembros del grupo cuando se los dibuja sobre esta curva, parecería más sabio esperar evidencias adicionales como movimiento propio, velocidad radial, y si es posible, paralaje, antes de poner entera confianza en la hipótesis de que las Cefeidas y variables tipo cúmulo son invariablemente super gigantes en magnitud absoluta.

*Argumentos a partir de las estrellas intrínsecamente más brillantes.*- Si la ley luminosidad frecuencia es la misma para las estrellas de los cúmulos globulares en cuanto a nuestra galaxia, debería ser posible correlacionar las estrellas intrínsecamente más brillantes de ambas regiones y así determinar las distancias de cúmulos. Parecería, a priori, que las estrellas más brillantes de los cúmulos deben ser gigantes, o al menos aproximar ese tipo, si las estrellas de los cúmulos son como la muestra general de estrellas. Por medio de la aplicación de un método espectroscópico Shapley ha encontrado que los espectros de las estrellas más brillantes en cúmulos son parecidos a los espectros de las estrellas galácticas gigantes, un método que debería ser sobradamente útil después de que se hayan hecho suficientes pruebas para asegurarse de que en este fenómeno, como es desafortunadamente el caso en prácticamente todas las características estelares, no haya gran dispersión, y también si las ligeras diferencias en tipos espectrales puedan en absoluto afectar materialmente las deducciones.

*La estrella "gigante" promedio.*- Determinando la distancia de Messier 3 a partir de las estrellas variables que contiene, Shapley deriva entonces magnitud absoluta -1.5 como la luminosidad media de las veinticinco estrellas más brillantes de este cúmulo. A partir de este valor medio, -1.5, él determina entonces la distancia de otros cúmulos. En lugar, sin embargo, de determinar distancias de cúmulos del orden de 100000 años luz por medio de las correlaciones sobre un número limitado de Cefeidas variables, una pequeña y posiblemente excepcional clase, y, a partir de las distancias así derivadas deducir que las magnitudes absolutas de muchas de las estrellas más brillante de un cúmulo son tan grandes como -3, mientras una gran proporción son mayores que -1, sería preferible empezar la línea de razonamiento con los atributos de las estrellas conocidas de nuestra vecindad, y avanzar desde ellas hasta los cúmulos.

¿Cuál es la magnitud absoluta promedio de una estrella gigante galáctica? En este punto hay lugar para diferencias honestas de opinión, y habrá sin dudas muchos que verán las conclusiones de este artículo como ultra conservadoras. Confinándonos nosotros mismos a los datos observacionales existentes, no hay evidencia de que un grupo de gigantes galácticas, de tipo espectral promedio alrededor de G5, tendrán una magnitud absoluta media tan grande como -1.5; está más probablemente alrededor de +1.5, o tres magnitudes más débiles, haciendo las distancias de Shapley cuatro veces más largas.

Es importante acotar en esta conexión la sugerencia de Russell, escrita en 1913, cuando los datos de paralajes estaban más limitados y eran menos creíbles que al presente:

Las estrellas gigantes de todas las clases espectrales parecen ser de alrededor del mismo brillo medio, - promediando apenas por encima de la magnitud absoluta cero, esto es, casi cien veces



tan brillantes como el sol. Puesto que las estrellas de esta serie . . . han sido seleccionadas por brillo aparente, lo cual da una fuerte preferencia a aquellas de mayores luminosidades, el brillo promedio de todas las estrellas gigantes en una región dada del espacio debe ser menos que esto, quizá considerablemente así.

Se ha hecho alguna referencia al dudoso valor de las paralajes del orden de  $0''.010$ , y es sobre tales pequeñas o negativas paralajes que la mayoría de las muy grandes luminosidades absolutas de las listas dependen. Parece claro que el trabajo de paralaje debería orientarse a usar tantas estrellas débiles de comparación como sea posible, y que las correcciones aplicadas para reducir paralajes relativas a paralajes absolutas deberían ser incrementadas muy considerablemente por encima de lo que se pensaba aceptable hace diez años.

Del estudio de las magnitudes absolutas dibujadas por tipo espectral de casi quinientas paralajes modernas directas, con la debida atención a las incertezas de las paralajes diminutas, y teniendo en mente que la mayoría de las gigantes serán de tipos F a M, parecería haber poca razón para ubicar la magnitud absoluta de tales estrellas gigantes tan brillantes como +2.

La magnitud absoluta promedio de las gigantes en la lista de Adams de quinientas paralajes espectroscópicas es +1.1. Los dos métodos difieren mayoritariamente en las estrellas de tipo G, donde el método espectroscópico muestra un máximo en +0.6, que no es muy evidente en las paralajes trigonométricas.

En tales cúmulos móviles de estrellas como el grupo de las Hyades, tenemos observadas hasta ahora evidentemente solamente las estrellas gigantes de tales grupos. La magnitud absoluta media de cuarenta y cuatro estrellas que se supone pertenecen al cúmulo móvil de Hyades es +2.3. La magnitud absoluta media de las trece estrellas de tipos F, G, y K, es +2.4. La magnitud absoluta media de las seis estrellas más brillantes es +0.8 (dos A5, una G, y tres de tipo K).

Las Pléyades no pueden ser ajustadamente ser comparadas con tales cúmulos o los cúmulos globulares; su composición parece enteramente diferentes ya que las estrellas más brillantes promedian cerca de B5, y solamente entre las estrellas más débiles del cúmulo hay alguna tan tardía como de tipo F. La paralaje de este grupo es todavía altamente incierta. Con el valor de Schouten de  $0''.037$  la magnitud absoluta media de las seis estrellas más brillantes es +1.6.

Con el debido permiso por la rojeza de las gigantes en cúmulos, la magnitud visual media de Shapley de las veinticinco estrellas más brillantes en veintiocho cúmulos globulares es alrededor de 14.5. Entonces, de la ecuación dada en la primera sección de este artículo tenemos,

$+2 = 14.5 + 7.6 - 5 \times \log \text{ distancia}$ , o,  $\log \text{ distancia} = 4.02 = 10500$  años luz como distancia promedio.

Si adoptamos, en su lugar, el valor medio de Adams de +1.1, la distancia viene a ser 17800 años luz.

Cualquier valor de la distancia promedio de los cúmulos puede ser vista como satisfactoriamente cercana a aquellas postuladas para una galaxia de dimensiones más pequeñas sostenida en este artículo, en vista de las muchas incertezas en los datos. Cualquier valor, también, dará, sobre la misma suposición, una distancia del orden de 30000 años luz para unas pocas de las más débiles y aparentemente más distantes cúmulos. Considero muy dudoso que algún cúmulo esté realmente tan distante como

esto, pero no encuentro ninguna dificultad en aceptar lo provisionalmente como una posibilidad, sin extender necesariamente de ese modo la estructura principal de la galaxia a tales dimensiones. Mientras que los cúmulos paracen concentrados hacia el plano galáctico, su distribución en longitud es una distribución muy irregular, con casi todos ellos ubicados en el cuadrante entre 270 grados y 0 grado. Si las espirales son galaxias de estrellas, su analogía explicaría la existencia de nódulos frecuentes de condensación (cúmulos globulares) ubicados bien afuera de y diferentes de la estructura principal de una galaxia.

Debe ser admitido que las estrellas de tipo B constituyen una suerte de dilema para cualquier intento de utilizarlas para determinar distancias de cúmulos.

De la escasez de sus pequeños movimientos propios, la mayoría de los investigadores ha deducido varias grandes luminosidades para tales estrellas en nuestra galaxia. Examinando los valores de Kapteyn para estrellas de este tipo, se verá que él encuentra un rango de magnitudes absolutas de +3.25 to - 5.47. Dividiendo las 433 estrellas de su lista en dos grupos de magnitudes tenemos:

Magn. Abs. media de 249 estrellas B, más brillantes que 0	-1.32
Magn. Abs. media de 184 estrellas B, más brillantes que 0	+0.99
Magn. Abs. media de todas	-0.36

O el valor de las estrellas más brillantes, -1.32, o la media de todas, -0.36, es más de una magnitud más brillantes que la magnitud absoluta promedio de las gigantes de otros tipos espectrales entre las estrellas galácticas más cercanas.

Ahora esta relación galáctica está aparentemente *revertida* en cúmulos tales como M. 3 o M. 13, donde las estrellas de tipo B son casi tres magnitudes más débiles que las estrellas K y M más brillantes y casi una magnitud más débil que las de tipo G. Supongamos que los presentes muy altos valores de las estrellas de tipo B galácticas son correctas, si suponemos luminosidad similar para aquellas en los cúmulos debemos asignar magnitudes absolutas de -3 a -6 para las estrellas F a M de los cúmulos, para las que no tenemos paralelo galáctico cierto, con una distancia de quizá 100000 años luz. Por otra parte, si las estrellas F a M del cúmulo son como las más brillantes de ese tipo en la galaxia, la magnitud absoluta promedio de las estrellas de tipo B serán de solamente +3, y demasiado bajas para estar de acuerdo con el presente valor para las B galácticas. Yo prefiero aceptar la última alternativa en este dilema, y creer que pueden existir estrellas B de solamente dos a cinco veces el brillo del sol.

Mientras que yo sostengo una teoría de dimensiones galácticas de aproximadamente un décimo de la mantenida por Shapley, no se concluye que yo mantenga esta razón para cualquier distancia particular de un cúmulo. Todo lo que yo he intentado hacer es mostrar que 10000 años luz es una distancia *promedio* razonable de un cúmulo.

Hay tantas suposiciones e incertezas involucradas que vacilo en intentar asignar una distancia dada a un cúmulo dado, una vacilación que no está disminuida por

una consideración de las siguientes estimas de la distancia de M. 13 (El gran cúmulo en Hércules).

Shapley, 1915, provisional	100000 años luz
Charlier, 1916	170 años luz
Shapley, 1917	36000 años luz
Shouten, 1918	4300 años luz
Lundmark, 1920	21700 años luz

Debería ser establecido aquí que la estimación más temprana de Shapley fue meramente una suposición provisional para ilustración cuantitativa, pero todas están basadas sobre material moderno e ilustran el hecho de que buena evidencia puede frecuentemente ser interpretada de diferentes maneras.

Mi propia estima, basada en las consideraciones generales bosquejadas más arriba en este artículo, serían de alrededor de 8000 años luz y me parece a mí que esta estima está dentro del cincuenta por ciento de la verdad.

## 2.2. Las espirales como galaxias externas

*Las espirales.*- Si las espirales son “universos islas” sería razonable y más probable asignarles dimensiones del mismo orden de nuestra galaxia. Si, sin embargo, sus dimensiones son tan grandes como 300000 años luz, los universos islas deben estar ubicados a enormes distancias que sería necesario asignar, lo que parece imposible, grandes magnitudes absolutas a las novae que han aparecido en esos objetos. Por esta razón la teoría de “universos islas” tiene un sostén indirecto en el asunto general de las dimensiones galácticas, aunque es, por supuesto, enteramente posible sostener la teoría de universos islas y la creencia en las mayores dimensiones de nuestra galaxia haciendo la no improbable suposición de que nuestra propia galaxia, por casualidad, parece ser varias veces más grande que el promedio.

Algunos de los argumentos contra la teoría de “universos islas” de las espirales han sido convincentemente expuestos por Shapley, y no serán acotados aquí para referencia. Es sólo para establecer que estos argumentos tempranos no representan adecuadamente el punto de vista presente de Shapley, que coincide de algún modo más apretadamente con el sostenido por el escritor.

Con el plano del sistema sidereal bosquejado aquí, parece difícil que las nebulosas espirales puedan ser consideradas galaxias de estrellas separadas. Junto a esta evidencia existente hasta ahora, los siguientes puntos parecen opuestos a la teoría de “universos islas”; (a) el carácter dinámico de la región de evitación; (b) el tamaño de la galaxia; (c) la luminosidad máxima alcanzable por una estrella; (d) la creciente frecuencia de altas velocidades entre otros objetos siderales, particularmente aquellos fuera de la región de evitación . . . el trabajo de cúmulos sugiere fuertemente la hipótesis que las nebulosas espirales . . . son, sin embargo, miembros de la organización galáctica . . . las novae en las espirales pueden ser consideradas como el hundimiento de una estrella por la nebulosidad moviéndose rápidamente. (*Publ. Astron. Soc. of the Pacific, Feb. 1918, p. 53.*)

El reciente trabajo sobre cúmulos de estrellas, hasta ahora en tanto que arroja alguna luz sobre la probable extensión y estructura del sistema galáctico, justifica una rápida reconsideración de la cuestión de las galaxias externas, y aparentemente lleva a dejar de lado la hipótesis que las nebulosas espirales deberían ser interpretadas como sistemas estelares separados.

Abandonemos la comparación con la galaxia y asumamos una distancia promedio para las espirales más brillantes que darán una razonable magnitud absoluta media para las novae (y en una nota al pie - provisionalmente digamos, del orden de 20000 años luz). Más aún, es posible explicar la distribución peculiar y su sistemático alejamiento suponiéndolas de alguna manera repelidas por el sistema galáctico, el que parece moverse como un todo a través de un campo nebuloso de extensión indefinida. Pero la posibilidad de estas hipótesis es por supuesto no propuesta como evidencia competente contra la teoría de "universos islas"... La observación y discusión de las velocidades radiales, movimientos internos, y distribución de las nebulosas espirales, del brillo real y aparente de las novae, de la luminosidad máxima de los cúmulos de estrellas, y finalmente de las dimensiones de nuestro propio sistema galáctico, todas parecen definitivamente oponerse a la teoría de 'universos islas' de las nebulosas espirales... (Publ. Astron. Soc. of the Pacific, Oct. 1919, pp. 261 ff.)

*El dilema de las dimensiones aparentes de las espirales.-* En tamaño aparente las espirales van desde un diámetro de 2 grados (Andrómeda), a manchas de 5", o menos de diámetro.

Ellas pueden posiblemente variar en tamaño real, aproximadamente en la progresión mostrada por sus dimensiones aparentes.

El principio general de igualdad aproximada de tamaño para los objetos celestes de la misma clase parece, sin embargo, inherentemente el más probable, y ha sido usado en numerosas investigaciones modernas, e. g. por Shapley al determinar las distancias relativas de los cúmulos.

*Sobre el principio de igualdad aproximada de tamaños reales:*

### Como "universos islas"

Sus distancias probables van desde 500000 años luz (Andrómeda), a distancias del orden de 100000000 años luz. A 500000 años luz la Nebulosa de Andrómeda tendría 17000 años luz de diámetro, o del mismo orden de tamaño de nuestra galaxia.

### Como fenómenos galácticos

Si la nebulosa de Andrómeda está a 20000 años luz de distancia, las minúsculas espirales necesitarían estar a distancias del orden de 10000000 de años luz, o lejos afuera de las mayores dimensiones postuladas para la galaxia. Si todas fueran objetos galácticos, la igualdad de tamaño debe ser abandonada, y las espirales minúsculas deben ser mil veces más pequeñas que las más grandes.

*El espectro de las espirales.-*

## Como “universos islas”

El espectro de una galaxia espiral promedio es indistinguible de aquél de un cúmulo de estrellas. Es de tipo aproximadamente F-G, y en carácter general recuerda bastante el espectro integrado de la Vía Láctea. Es justo el espectro que sería esperado de un vasto conjunto de estrellas. El espectro de las espirales no ofrece dificultades a la teoría de “universos islas”.

## Como fenómenos galácticos

Si las espirales son intragalácticas, debemos suponer que son una suerte de material finamente dividida, o de constitución gaseosa. En cualquier caso no tenemos evidencia adecuada y que realmente exista por la cual podamos explicar sus espectros. Muchas nebulosidades difusas de nuestra galaxia muestran un espectro gaseoso de líneas brillantes. Otros, asociados con estrellas brillantes concuerdan con sus estrellas vinculadas en espectro, y están bien explicadas como una reflexión o efecto de resonancia. Una explicación tal parece insostenible para la mayoría de las espirales.

*La distribución de las espirales.-* Las espirales se encuentran en los mayores números justo donde las estrellas son las menos (en los polos galácticos), y no en absoluto donde las estrellas son más numerosas (en el plano galáctico). Este hecho hace difícil, si no imposible, ajustar las espirales en un esquema coherente de evolución estelar, o como un punto de origen o como un producto evolucionario final. No se ha encontrado todavía ninguna espiral dentro de la estructura de la Vía Láctea. Esta peculiar distribución es admitidamente difícil de explicar para cualquier teoría. Este factor de distribución en las dos teorías puede ser contrastado como sigue:

## Como “universos islas”

Es muy improbable que nuestra galaxia, por mera chance, se ubique a mitad de camino entre los dos grandes grupos de “universos islas”. Muchas de las espirales de canto muestran anillos periféricos de materia oscura que este anillo oscuro pueda ser bien la regla antes que la excepción. Si nuestra galaxia, ella misma una espiral sobre la teoría de universos islas, posee un anillo tal de materia oscura, esto obliteraría las espirales distantes en nuestro plano galáctico, y explicaría la peculiar distribución aparente de las espirales. Hay alguna evidencia de material oscurecedor en nuestra galaxia. En vista de los excesos observados de las velocidades de recesión, observaciones adicionales pueden remover esto. Parte de los excesos pueden bien ser debidos al movimiento en el espacio de nuestra propia galaxia. La nebulosa de Andrómeda se nos está aproximando.

## Como fenómenos galácticos

Si las galaxias espirales son objetos galácticos, deben ser una clase aparte de todos los otros tipos conocidos; ¿por qué ninguno en nuestra vecindad? Sus aborrecimientos por las regiones de las más grandes densidades estelares solamente puede ser explicada sobre la hipótesis que ellas son, de alguna manera, repelidas por las estrellas. No conocemos ninguna fuerza adecuada para producir tal repulsión, excepto quizá, presión de la luz. ¿Por qué debería esta fuerza actuar invariablemente a ángulos rectos a nuestro plano galáctico? Por qué no han sido algunas repelidas en la dirección de nuestro plano galáctico? La teoría de la repulsión, es verdad, tiene alguna justificación por el hecho que la mayoría de las espirales observadas a la fecha está alejándose de nosotros.

*Las velocidades espaciales de las espirales.-*

## Como “universo islas”

Las espirales observadas a la fecha tienen la enorme velocidad espacial promedio de 1200 km/seg. En este factor de velocidad ellas están aparte de todos los objetos galácticos. Su velocidad especial es cien veces la de las nebulosidades galácticas difusas, casi treinta veces la velocidad promedio de las estrellas, diez veces las de las nebulosas planetarias, y cinco veces las de los cúmulos. Velocidades espaciales tan altas parecen posibles para galaxias individuales. Nuestra propia galaxia tiene una velocidad especial relativa al sistema de las espirales, de varios cientos de km/seg. Se han hecho intentos para derivar ésta a partir de las velocidades de las espirales, pero todavía son inciertas, ya que tenemos velocidades de apenas 30 espirales.

## Como fenómenos galácticos

Velocidades espaciales de varios cientos de km/seg. fueron encontradas para unas pocas de las estrellas más débiles. Se ha argumentado que una extensión del survey de velocidades radiales a las estrellas más débiles podría remover la discrepancia entre las velocidades de las estrellas y las de las espirales. Esto es posible, pero no parece probable. Las estrellas seleccionadas hasta ahora para investigación han sido estrellas de gran movimiento propio. Por este método de selección son objetos excepcionales, no objetos representativos. Las altas velocidades espaciales todavía son la excepción, no la regla, para las estrellas de nuestra galaxia.

*Movimientos propios de las espirales.*- Deberían los resultados del próximo cuarto de centuria mostrar un *buen acuerdo entre observadores diferentes* sobre el efecto de que los movimientos anuales de traslación o rotación de las espirales igualan o exceden  $0''.01$  en valor promedio, parecería que la teoría de “universo islas” debe ser definitivamente abandonado. Un movimiento de 700 km/seg. A través de nuestra línea de visión producirá los siguientes movimientos propios anuales:

Distancia en años luz	1000	10000	100000	1000000
Movimiento propio anual	$0''.48$	$0''.048$	$0''.005$	$0''.0005$

Las observaciones visuales más viejas de las espirales tienen un error probable tan alto que son inútiles en la determinación de movimientos propios si son pequeños; el intervalo de tiempo disponible para determinaciones fotográficas es menor que veinticinco años.

El primer movimiento propio dado arriba debería inevitablemente haber sido detectado por métodos visuales o fotográficos, a partir de lo cual parece claro que las espirales no pueden estar relativamente próximas a nosotros en los polos de nuestro disco galáctico aplanado. En vista del vago carácter de las condensaciones medidas, yo considero la más creíble determinación del segundo movimiento propio dado arriba imposible por los métodos presentes sin un intervalo de tiempo mucho más largo de lo que es posible al presente; para el tercero y el cuarto necesitaríamos siglos.

*Nuevas estrellas en las espirales.* -Dentro de los pocos años pasados unas veintisiete nuevas estrellas han aparecido en las espirales, dieciseis de ellas en la nebulosa de Andrómeda, contra las casi treinta y siete que han aparecido en nuestra galaxia en los últimos tres siglos. Hasta ahora, como puede juzgarse a partir de tales objetos débiles, las novas en las espirales tienen una historia de vida similar a aquella de

las novas galácticas, repentinamente parpadeando, y más lentamente, pero todavía relativamente rápidamente, decayendo otra vez a luminosidades diez mil veces menos intensas. Tales novas conforman un fuerte argumento para la teoría de universos islas y constituyen, además, un método para determinar las distancias aproximadas de las espirales.

Con todos estos elementos de continuidad y simplicidad, nuestro universo es demasiado casual en sus detalles para garantizar deducciones a partir de números pequeños de objetos excepcionales. Donde ninguna otra correlación esté disponible tales deducciones deben ser hechas con precaución, y con total apreciación de las incertezas involucradas.

Parece cierto, por ejemplo, que la dispersión de las novas en las espirales y probablemente en nuestra galaxia también puede alcanzar al menos diez magnitudes absolutas, como está evidenciado por comparación de *S Andromedae* con novas débiles encontradas recientemente en esta espiral. Una división en dos clases de magnitudes no es imposible.

La Nova de Tycho, para ser comparable en magnitud absoluta con algunas novas galácticas recientes, no podría haber estado a mucho más de diez años luz de distancia. Si tan próxima a nosotros como cien años luz debe haber tenido magnitud absoluta -8 en el máximo; si solamente a mil años luz de lejos, habría tenido magnitud absoluta -13 en el máximo.

Las distancias y magnitudes absolutas de no más de cuatro novas galácticas han sido determinadas hasta ahora; la magnitud absoluta media es -3 en el máximo y +7 en el mínimo.

Estos valores medios, aunque admitidamente descansan sobre una muy limitada cantidad de datos, pueden ser comparados con las novas más débiles que han aparecido en la Nebulosa de Andrómeda más o menos como sigue: donde 500000 años luz se suponen para esta espiral en la hipótesis de universos islas, y por comparación, la más pequeña distancia de 20000 años luz.

	Magnitud aparente	
	Treinta novas galácticas	Dieciséis novas en la Neb. de Andrómeda
En el máximo	+5	+17
En el mínimo	+15	+27 (?; conjeturadas por analogía de novas galácticas)

Se verá de arriba que, en la mayor distancia de la teoría de universos islas, el acuerdo en magnitud absoluta es bastante bueno para las novas galácticas y espirales. Si es tan próxima como 20,000 años luz, sin embargo, estas novas deben ser diferentes a los objetos galácticos similares, y de inusualmente baja magnitud absoluta en el mínimo. Muy pocas estrellas han sido hasta ahora encontradas tan bajas en luminosidad como de magnitud absoluta +13, correspondiente, a esta distancia a magnitud aparente 27.

La hipótesis simple de que las novas en las espirales representan el debilitamiento de estrellas galácticas ordinarias por las nebulosidades rápidamente moviéndose es una posibilidad sobre la

base de las distancias (i. e., 20000 años luz) ya que las espirales más brillantes están dentro de los límites del sistema galáctico (Shapley).

Esta hipótesis del origen de las novas en las espirales está abierta a graves objeciones. Esto involucra:

1. Que las estrellas tomadas así son de luminosidad absoluta más pequeña que las más débiles observadas hasta ahora, con muy pocas excepciones.
2. Que estas estrellas débiles son extraordinariamente numerosas, una conclusión que en varianza con los resultados de conteos estelares parece indicar que hay una marcada caída en el número de estrellas debajo de la magnitud aparente 19 o 20.

Como una ilustración de las dificultades que enfrentaría una hipótesis tal, he hecho un conteo de las estrellas en un número de áreas alrededor de la Nebulosa de Andrómeda, incluyendo, se cree, estrellas al menos tan débiles como 19.5, y encuentro una densidad estelar, incluyendo todas las magnitudes de alrededor de 6000 estrellas por grado cuadrado.

Si a no más de 20000 años luz de distancia, esta espiral se encontrará a 7000 años luz sobre el plano de la Vía Láctea, y si se mueve a una tasa de 300 km/seg., barrerá aproximadamente 385 años luz cúbicos por año.

Para ver el caso más favorable que sea posible para la hipótesis sugerida, supongamos que ninguna de las 6000 estrellas por grado cuadrado están tan cercanas como 15000 años luz, pero que todas ellas están dispuestas en un sustrato que se extiende 5000 años luz a cada lado de la espiral.

Entonces la Nebulosa de Andrómeda debería encontrar una de estas estrellas cada 520 años. De aquí que la tasa real a la cual las novas han sido encontradas en esta espiral indicarían una densidad estelar casi dos mil veces más grande que aquella mostrada por los conteos; cada estrella ocuparía casi un segundo cuadrado de arco en la placa fotográfica.

#### *Las espirales como universos islas: resumen.-*

1. Con esta teoría evitamos las casi insuperables dificultades involucradas en un intento de ajustar las espirales en cualquier esquema coherente de evolución estelar, ya sea como punto de origen o como un producto evolucionario.

2. En esta teoría es innecesario intentar coordinar las tremendas velocidades espaciales de las espirales con aquellas de la estrella promedio.

3. El espectro de las espirales es tal como sería el esperado para una galaxia de estrellas.

4. Una estructura espiral se ha sugerido para nuestra galaxia y no es improbable.

5. Si universos islas, las nuevas estrellas observadas en las espirales parecen una consecuencia natural de sus naturalezas como galaxias. Las correlaciones entre las novas en las espirales ya aquellas en nuestra galaxia indican distancias que van desde quizá 500000 años luz en el caso de la nebulosa de Andrómeda, a 10000000 o más de años luz para las espirales más remotas.

6. A tales distancias, estos universos islas serían del mismo orden de tamaño que nuestra propia galaxia.

7. Muchísimas espirales muestran evidencia de anillos periféricos de material oscurecedor en sus planos ecuatoriales. Un fenómeno tal en nuestra galaxia, vista como una espiral, serviría para obliterar las espirales distantes en nuestro plano



galáctico y constituirían una adecuada explicación a la de otra manera inexplicable distribución de las espirales.

Hay una unidad y acuerdo interno en los hechos de la teoría de universos islas que me atrae fuertemente. La evidencia con vista a las dimensiones de la galaxia, en ambos lados, es demasiado incierta como para permitir cualquier pronunciamiento dogmático. Hay muchos puntos con dificultades en ambas teorías de las dimensiones galácticas, y está fuera de duda verdadera que muchos prefieren suspender el juzgar hasta que mucha evidencia adicional esté disponible. Hasta que esté disponible más evidencia en contrario, sin embargo, yo creo que la evidencia de dimensiones galácticas más pequeñas y comúnmente aceptadas es todavía el más fuerte; y que el diámetro postulado de 300000 años luz debe ser, bastante ciertamente, dividido por cinco y quizá por diez.

Sostengo, por lo tanto, la creencia de que la galaxia probablemente no tiene más de 30000 años luz de diámetro; que las espirales no son objetos intra galácticos sino universos islas, como nuestra propia galaxia, y que las espirales, como galaxias externas, nos indican un mayor universo dentro del cual podemos penetrar a distancias de diez millones a cien millones de años luz.

## Parte III

# Notas de traducción

[100] Por 1900, mientras se estudiaban movimientos propios de estrellas brillantes, se descubrió que las estrellas más cercanas al sol se movían en dos direcciones opuestas casi 180 grados. Este fenómeno fue conocido como corriente de estrellas, “star streaming” en inglés. Con el tiempo, la explicación de ellos fue que son el resultado de pequeños apartamientos de órbitas circulares en torno al centro galáctico. Obviamente, no todas las estrellas participan de este movimiento.

[101] Cúmulo globular Messier 13 ubicado en  $\alpha_{2000} = 16^h 41^m 7$ ,  $\delta_{2000} = 36^\circ 28'$

[102] También se la conoce en la época como “Teoría de universos islas”. Teoría que sostenía que las nebulosas espirales observables con grandes telescopios pero casi imposibles de resolver en estrellas eran, en realidad, objetos externos a nuestra propia galaxia sin ninguna relación ni entre ellos ni con la Vía Láctea.

[103] Alpha Orionis es la estrella Betelgeuse, una supergigante roja que muestra cambios de magnitud entre 0.3 y 0.9

[104] El hecho de que las estrellas más cercanas a nosotros se dispersan alrededor nuestro en todas las direcciones llevó al astrónomo Kapteyn, de Groningen, a postular primero que nadie, quizá, que formamos parte de un gran cúmulo globular que él llamó más exactamente “cúmulo solar”. En el momento del gran debate todavía se lo denominaba el cúmulo local. Este cúmulo era aproximadamente concéntrico con la Vía Láctea. Si bien se trataba de una aseveración errónea, era, sin embargo, consistente con la masa de datos disponible en ese momento.

[105] Adrian van Maanen (1884-1946) era un astrónomo holandés que trabajaba en el observatorio Mount Wilson por la época del gran debate. Tenía fama de ser un meticuloso medidor de placas fotográficas usando el comparador de blink. El “comparador de blink” permitía observar pequeños desplazamientos de objetos estelares principalmente sobre placas fotográficas de la misma zona del cielo tomadas con intervalos de al menos cinco años. van Maanen fue capaz de medir desplazamientos rotacionales de cerca de  $0''.02$  en varias nebulosas espirales, según decía él mismo. En particular, midió velocidades rotacionales de este orden en la nebulosa espiral M 101 y concluyó que no podía tratarse de un objeto tan distante como postulaba la teoría de “universos islas”, por cuanto, si así fuera, la velocidad de rotación de estos objetos alcanzaría valores fantásticos -inconcebibles. Los resultados de van Maanen, considerados correctos por Shapley, indujeron a éste a negar la hipótesis de que las espirales eran objetos externos a nuestra galaxia. Aparentemente, Curtis, Slipher y Lundmark, entre otros, sabían que las medidas de van Maanen eran incorrectas pero prefirieron no decirlo. Debieron pasar varios años antes de que se conociera que las medidas de este investigador eran incorrectas.

Sin embargo, en su libro *The Cambridge Illustrated History of Astronomy*, Michael Hoskin menciona que Edwing Hubble, que también trabajaba en el observatorio de Mount Wilson por esa época, entró en conflicto con van Maanen. En efecto, cuando

Hubble descubrió las Cefeidas en Andrómeda -alrededor de 1925-, inmediatamente surgió que la distancia de esta nebulosa espiral era inmensa y que se trataba de un objeto externo a nuestra galaxia (a favor de la posición de Curtis). Sin embargo, van Maanen continuó sosteniendo sobre la base de más y más material medido que las nebulosas espirales no podían ser objetos externos (a favor de la posición de Shapley).

Para terminar con la discusión Hubble y algunos colegas reexaminaron independientemente en 1932 y 1933 todo el material de van Maanen llegando a la conclusión de que las determinaciones de aquél eran erróneas y los famosos movimientos de rotación no pudieron haber sido medidos sobre las placas. La primera reacción de Hubble parece haber sido la de publicar un artículo demoliendo a van Maanen, pero las autoridades de Mount Wilson intervinieron para llegar a un acuerdo donde Hubble publicaría sus resultados de manera “política” y van Maanen admitiría que los movimientos de rotación que él había observado deberían tomarse con precaución.

Traducción y edición: Rubén A. Vázquez

FCAGLP, UNLP, IALP-CONICET