

ABRIL - SETIEMBRE 1971

TOMO XLIII

Nº 177 - 178



ORGANO DE LA:

Asociación Argentina  
Amigos de la Astronomía

(Personería Jurídica por decreto de mayo 12 de 1937)

Avda. PATRICIAS ARGENTINAS 550 (Parque Centenario)

BUENOS AIRES (5)

# TELESCOPIO

Reflector

"URANO - 100"

## CARACTERISTICAS TECNICAS

Diametro del Espejo:	100 m/m
Distancia Focal:	900 m/m
Poder Resolutivo:	1" de Arco
Máxima Magnitud Observable:	12
Oculares (2):	60 y 120 Aumentos
(For Ramsden 11-1)	

Espejo controlado con aparato de FOUCAULT

## LISTA DE ACCESORIOS

Manual con nociones de Cosmografía  
Carta Celeste e Instrucciones para su uso.  
Tabla de ubicación de Planetas  
Lista de Objetos Celestes notables.  
Dos Oculares de Optica Acromática.  
Instrucciones para el uso del Telescopio  
Funda con Acolchado Protector para el Transporte.

Nuestra línea de fabricación abarca:

Serie de oculares Ramsden - planos diagonales - buscadores - espejos esféricos y parabólicos - cassegrain y todo lo relacionado con la óptica de reflexión.

# MANUFACTURAS OPTICAS RUBA

Valentín Alsina 2586 (Loc. 14) - Valentín Alsina - LANUS

# I N D U M E C A S R L

Carlos Calvo 787 - T.E. 23-8955 - Capital Federal

## ACABAMOS DE RECIBIR DEL JAPON

Telescopios refractores de gran calidad  
de 50, 60 y 75mm de abertura libre

y una línea completa de:

### ACCESORIOS ASTRONOMICOS

Oculares de los siguientes tipos y distancias focales:

Huyghens Mittenzwei de 6, 9, 12.5, 20, 25 y 50mm

Huyghens acromáticos de 40mm.

Ramsden de 20mm con retículo.

Kellner de 12 y 25mm.

Ortoscópicos de 4, 6 y 9mm.

Oculares zoom de aumento variable (longitud focal variable entre 8 y 20mm).

Prismas diagonales

Prismas solares tipo Herschel

Lentes de Barlow acromáticos (2x).

Anteojos buscadores 6x30mm, 12x40mm y 25x50mm.

Filtros para Sol y para Luna.

Descuento especial para socios de la AAAA.

Importamos por encargo telescopios refractores y reflectores de hasta 60cm de abertura.

## S U M A R I O

### EDITORIAL

Héctor Ottonello  
HOMENAJE

Pág.

3

### ARTICULOS

Héctor E. Moyano  
EL OBSERVATORIO ASTRONOMICO DE LA UNIVERSIDAD  
NACIONAL DE CORDOBA

5

Jorge Landi Dessy  
LAS VARIABLES DE LAS NUBES DE MAGALLANES

11

José Luis Sérsic  
EVOLUCION DEL CONCEPTO DE GALAXIA

19

Gualberto M. Iannini  
METODO DE LAS DEPENDENCIAS

24

Luis A. Milone  
ELEMENTOS DE FOTOMETRIA ESTELAR

35

Juan J. Clariá Olmedo  
COMO NACEN, EVOLUCIONAN Y MUEREN LAS ESTRELLAS

40

Gustavo J. Carranza  
EL MEDIO INTERESTELAR

48

### REDACCION

NOTICIAS DE LA ASOCIACION  
NOTICIERO ASTRONOMICO  
NOTICIERO ASTRONAUTICO

54

52

53



ASOCIACION ARGENTINA

AMIGOS DE LA ASTRONOMIA

DIRECTOR

Ambrosio J. Camponovo

SECRETARIO

Miguel A. Barone

REDACTORES

Juan C. Forte

Juan C. Cerutti - Astronáutica  
José M. de Feliú - Corrector

DIAGRAMACION

Martha Hernández

COMISION DIRECTIVA

Presidente

Ing. Héctor Ottonello

Vicepresidente

Sr. Vicente Brena

Secretario

Sr. Fernando A. Ravioli

Prosecretario

Sr. Juan C. Forte

Tesorero

Sr. Julio C. Margan

Protesorero

Sr. Juan Badillo

Vocales Titulares

Sr. Miguel A. Barone

Sr. Roberto H. Méndez

Sta. Martha Hernández

Sta. Velia Schiavo

Sr. Boris Goldenberg

Sr. Mario Vattuone

Comisión Revisora de Cuentas

Sr. Joaquín Camponovo

Sr. Laureano Silva

Sr. Pablo E. Trombetta

Comisión Denominadora

Sr. Ambrosio Camponovo

Sr. Carlos Castiñeiras

Sr. Alberto Vallini

La Dirección no se responsabiliza por las opiniones vertidas por los autores de los artículos publicados. Dirigir la correspondencia a la Dirección. No se devuelven los originales.

REGISTRO NACIONAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL N° 1.090.687



Dirección de la Revista

AVENIDA PATRICIAS ARGENTINAS 550 - Buenos Aires (5)

DISTRIBUCION GRATUITA A LOS SEÑORES ASOCIADOS

## **C I E N    A Ñ O S**

El desarrollo de la Astronomía en la Argentina se inicia el 24 de octubre de 1871, en que el presidente Domingo Faustino Sarmiento inaugura el Observatorio de Córdoba, pronunciando en su discurso estas inolvidables palabras: "Hay sin embargo un cargo al que debo responder y que apenas satisfecho por una parte reaparece por otra, bajo nueva forma".

"Es anticipado o superfluo, se dice, un observatorio en pueblos nacientes y con un erario exhausto o recargado".

"Y bien, yo digo que debemos renunciar al rango de Nación o al título de pueblo civilizado, si no tomamos nuestra parte en el progreso y en el movimiento de las Ciencias Naturales".

Los doctores Landi Dessy y Sersic, que iniciaron sus conocimientos astronómicos en nuestra Asociación cuando aún eran jóvenes estudiantes del ciclo secundario, los profesionales que los secundan y todos, sin exceptuar a nadie, que han ejercido su actividad en el histórico Observatorio, cumplen y cumplieron al pie de la letra el pensamiento de Sarmiento.

Y esta manifestación, es el justiciero homenaje que los Amigos de la Astronomía tributan al Observatorio Nacional de Córdoba, al cumplir su primer Centenario y a los hombres que lo enaltecieron.

HECTOR OTTONELLO  
Presidente



EDITORIAL UNIVERSITARIA DE BUENOS AIRES

Rivadavia 1571/73 - Buenos Aires

### LIBROS SOBRE ASTRONOMIA

- ASTROFISICA TEORICA (t.I) V.A. Ambartsumián (manuales)  
ASTROFISICA TEORICA (t.II) V.A. Ambartsumián (manuales)  
EL COSMOS H. Bondi (Ciencia Joven Nº 13)  
LOS ECLIPSES P. Couderc (Cuadernos Nº 89)  
LAS ETAPAS DE LA ASTRONOMIA P. Couderc (Cuadernos Nº 63)  
LAS HERRAMIENTAS DEL ASTRONOMO G.R. Miczaika y W.M. Sinton (C.Activa)  
INTRODUCCION A LA ASTRONOMIA C. Payne Gaposchkin (manuales)  
EL MENSAJERO DE LOS ASTROS G. Galilei (Los Fundamentales)  
NUEVO MANUAL DE LOS CIELOS H. Bernard, A.D. Bennet y H.S. Rice (C.Activa)  
LA REVOLUCION DE LAS ESFERAS CELESTES N. Copérnico (Los Fundamentales)  
EL SOL G. Abetti (manuales)  
EL TELESCOPIO DEL AFICIONADO, COMO SE CONSTRUYE J. Texereau  
(Ciencia Joven Nº 5)  
LA TRAMA DE LOS CIELOS S. Toulmin y J. Goodfield (Lectores Nº 35)  
EL UNIVERSO P. Couderc (Cuadernos Nº 39)  
LA VIDA EN EL UNIVERSO M.W. Ovenden (Ciencia Joven Nº 18)  
LA VIA LACTEA B. Bok y P. Bok (manuales)  
LA RELATIVIDAD P. Couderc (Cuadernos Nº 95)  
UNA VISION DEL COSMOS K.H. Boeke (Escuela del Tiempo Nº 13)  
TECNICAS DE FISICA EXPERIMENTAL J. Strong (2 tomos) (manuales)  
EL INQUIETO UNIVERSO - M. Born (Lectores E1)  
LA ASTRONAUTICA - L. Laming (Cuadernos Nº 150)  
LOS SATELITES ARTIFICIALES Ch. N. Martin (Cuadernos Nº 17)  
GRAVEDAD - G. Gamow (Ciencia Joven Nº 19)  
MICHELSON Y LA VELOCIDAD DE LA LUZ - B. Jaffe (Ciencia Joven Nº 7)

Por: Héctor E. Moyano

Hablar del Observatorio Astronómico de Córdoba en una apretada síntesis, no es tarea fácil, luego de observar que el próximo 24 de octubre cumplirá un siglo de existencia.

Comenzaremos este trabajo nombrando los hechos que determinaron la instalación del Observatorio de Córdoba.

Esta gran empresa se debe casi exclusivamente a dos grandes hombres: Domingo Faustino Sarmiento, desde el cargo de presidente de la Nación y del astrónomo norteamericano doctor Benjamín Apthorp Gould.

Benjamín A. Gould, nacido en la ciudad de Boston el 27 de setiembre de 1824, se dedicó a estudiar Matemáticas y Física, graduándose en dichas materias en el Harvard College.

En 1845 viaja a Europa donde sigue cursos de Astronomía en las mejores escuelas de la especialidad del Viejo Continente, obteniendo el título de Doctor en Astronomía, en la Facultad de Ciencias de Göttingen.

Mucho fue lo que estudió y trabajó Gould en Europa, logrando la admiración y el respeto de científicos de la talla de Alexandre de Humboldt, Gauss, Encke y otros, aunque no todos se dedicaron a las ciencias astronómicas.

Con ese gran caudal de conocimientos regresa a su patria de origen en 1848, donde decide dar impulso a la astronomía norteamericana, no muy fecunda en esa época. Acepta la dirección del Observatorio de Albany, colaborando en su instalación para que ésta fuera lo más perfecta posible; y luego, el fruto de su

En 1849 funda en Boston una revista astronómica, que en la actualidad sigue editándose normalmente, y se llama "Astronomical Journal". Cabe destacar que no son pocos los científicos argentinos que han visto publicados sus trabajos en ella. A Gould no todo le salió como lo había planeado; la guerra civil que azotó por largo tiempo a los después Estados Unidos, de una u otra forma influyó para que este gran científico viera paralizado su enorme trabajo, que llevaba a cabo con grandes sacrificios.

Luego de finalizada la contienda civil y habiendo renunciado a la dirección del Observatorio de Albany, Gould elabora una gran empresa, que a la larga le reportaría fama y honores.

Dicha empresa consistía en instalar un Observatorio Astronómico en la República Argentina; más precisamente, en la ciudad de Córdoba.

En 1865 llega a EE.UU. Domingo Faustino Sarmiento, como ministro plenipotenciario de la República Argentina.

Sarmiento permanece en el país del norte los tres años anteriores a su presidencia. No se dedicó mucho a su trabajo de embajador, pero sí, su pasión por conocer todo aquello que fuera cultura lo llevó a visitar los centros científicos y culturales de ese país, en los cuales tomó contacto con las más destacadas figuras científicas del medio, entre las que se encontraba Benjamín A. Gould.

Es así como Gould ve en Sarmiento al hombre indicado para poder llevar a cabo su proyecto de instalar un observatorio en la República Argentina, no habiendo concretado sus aspiraciones por falta de estímulo necesario.

¿Por qué quería Gould instalar un observatorio en América del Sur? Sencillamente, para poder fijar su posición de todas las estrellas u objetos celestes que no podían ser observados desde el hemisferio boreal. Por ejemplo, nuestra Cruz del Sur, nuestra alfa del Centauro y los grandes cúmulos globulares del hemisferio sur.

Bien escribió el señor Nissen, al expresar que "en muchas investigaciones, de muy poco sirve saber bien lo que hay en una mitad del firmamento cuando se sabe mal lo que hay en la otra mitad".

Animado por su gran convencimiento, Gould envió una carta a Sarmiento exponiéndole sus proyectos; en dicha carta Gould preguntaba "si semejante expedición sería cordialmente recibida por el Gobierno Nacional y por el pueblo de Córdoba; si me daría protección en caso de necesidad; y si podía abrigar razonablemente la esperanza de que a mi salida, el establecimiento fuese adoptado por el Gobierno y conservado como una Institución Nacional". Sarmiento comprendió en seguida la importancia científica del proyecto y las ventajas culturales que reportaría a la Nación; por consiguiente de inmediato escribió al ministro de Instrucción Pública del gobierno del general Mitre, doctor Costa, sobre los alcances del proyecto de Gould.

El ministro le contestó muy cordialmente, pero como las arcas del Gobierno estaban exhaustas no podía dar el consentimiento inmediato, debido a las erogaciones que requería la guerra contra el Paraguay.

A pesar de la imposibilidad, por el momento, Sarmiento no se desanimó y dio algunas esperanzas a Gould para más adelante.

Es así que años más tarde, cuando el gran sanjuanino es elegido presidente de la República, con la guerra del Paraguay sin terminar; con sublevaciones en el interior; la fiebre amarilla diezmando la ciudad de Buenos Aires, Sarmiento no obstante escribe a Gould diciéndole que, a pesar de todo, el Congreso aprobaría el presupuesto para que el observatorio fuese una realidad.

escribe a la señora de Mann: "Le escribo en el día aniversario de mi recepción del cargo de Presidente, un año hace, para anunciarle que es ley ya la creación del Observatorio Astronómico, lo que puede en mi nombre comunicarle a Mr. Gould, a fin de que vaya preparándose para venir . . . .".

El 25 de agosto de 1870, Buenos Aires ve llegar a Gould junto con sus ayudantes y algunos instrumentos que utilizaría en sus primeros trabajos en la Argentina. Córdoba lo recibe el 8 de setiembre, viéndolo trabajar desde el primer día sin descanso. Así, con voluntad de trabajo, se llega al 24 de octubre de 1871, día de la inauguración oficial del Observatorio Astronómico, primer instituto argentino para la investigación científica. Asistieron al acto el presidente Sarmiento y su ministro de Instrucción Pública, doctor Nicolás Avellaneda.

En la oportunidad, el doctor Gould expresó, en una parte de su discurso: "... cuando levanteis, señores, vuestros ojos, esta noche, después de ponerse la Luna, hacia el cielo estrellado, y esforzando vuestra atención se os presenten las más pequeñas estrellas, una en pos de otra, no hallaréis ni una sola cuya posición y magnitud no esté ya registrada por alguno, o por más de uno, de los astrónomos de vuestro Observatorio . . .". Solamente Gould fue capaz de hacer en un año tan magnífica obra sin elementos adecuados y por mucho tiempo hasta sin edificio, logrando en ese lapso un catálogo completo de todas las estrellas del cielo austral accesibles a simple vista y determinando sus magnitudes; dicho catálogo sería luego la llamada "Uranometría Argentina".

Luego de las palabras del director Gould vinieron las del doctor Nicolás Avellaneda, que comenzó diciendo: "Al fundar bajo la dirección de un hombre, aunque joven ya célebre, este Observatorio Astronómico, dotado con los instrumentos más perfectos que el ingenio humano haya puesto al servicio de la Ciencia que explora y sondea las profundidades de los cielos, ensayamos nuestros pasos en la senda de una civilización elevada y respondemos a una necesidad del mundo científico incorporándonos a su movimiento".

Por último, el presidente de la Nación



nunciar al rango de Nación, o al título de pueblo civilizado, si no tomamos nuestra parte en el progreso y en el movimiento de las ciencias naturales --" Para terminar dijo: "Podéis señor profesor Gould dar principio a vuestros trabajos".

Los instrumentos con los cuales se dotó al Observatorio fueron los siguientes: relojes, cronómetros, cronógrafos, aparatos meteorológicos, círculo meridiano, el gran ecuatorial y un fotómetro.

Todos estos instrumentos se fueron colocando a medida que llegaron a Córdoba, observando y trabajando con ellos. Cabe destacar que Gould, en el año 1875, luego de grandes esfuerzos, logró tomar 225 fotografías con el gran ecuatorial

El Observatorio de Córdoba se colocaba así entre los pioneros en la utilización de este sistema, base de la Astronomía moderna.

Gould no solamente se dedicó a la Astronomía, sino que prestó sus servicios en todo lo que fuera en beneficio del país; es así como en el año 1872 el Congreso promulga la ley para la creación de la Oficina Meteorológica Nacional, nombrando a Gould en el cargo de director, cuyos servicios fueron gratuitos, y que prestó todo su apoyo a la Oficina Meteorológica publicando cuatro volúmenes con datos precisos y muy importantes.

Durante los casi dieciséis años que Gould estuvo en la Argentina, realizó los siguientes trabajos: "Uranometría Argentina", con 8.737 estrellas; "Catálogo de Zonas" con 73.161 estrellas; el "Catálogo General Argentino", con 32.448 estrellas, y un suplemento de 12 cúmulos estelares con 1.126 estrellas.

Cabe también agregar que el "Catálogo de Zonas", fue realizado luego de trece años de labor, apoyado por sus familiares y amigos en el orden económico.

Sobre la magna obra realizada por Gould en Córdoba, el doctor Mueller, director del Observatorio Astronómico de Postdam, expresó: "De golpe, con los trabajos de Gould, el conocimiento del cielo austral, que hasta entonces había sido deficiente, fue extendido y completado de manera inesperada. La "Uranometría Argentina" y los "Catálogos de Estrellas del Sur" son los frutos más preciosos de la vida laboriosa de Gould, que inmortalizarán su nombre, y le aseguran el agradecimiento de los astrónomos de todos los tiempos y todos los países"....

"El nombre de Gould figurará por siempre con letras de oro en la historia de la Astronomía; y la obra realizada por este hombre infatigable, de fuerza casi sobrehumana para el trabajo, llenará de admiración a muchas generaciones venideras, incitándolas a la emulación."

En el año 1885, Gould regresa a su tierra natal, donde dará término a varios trabajos que llevó inconclusos desde Córdoba.

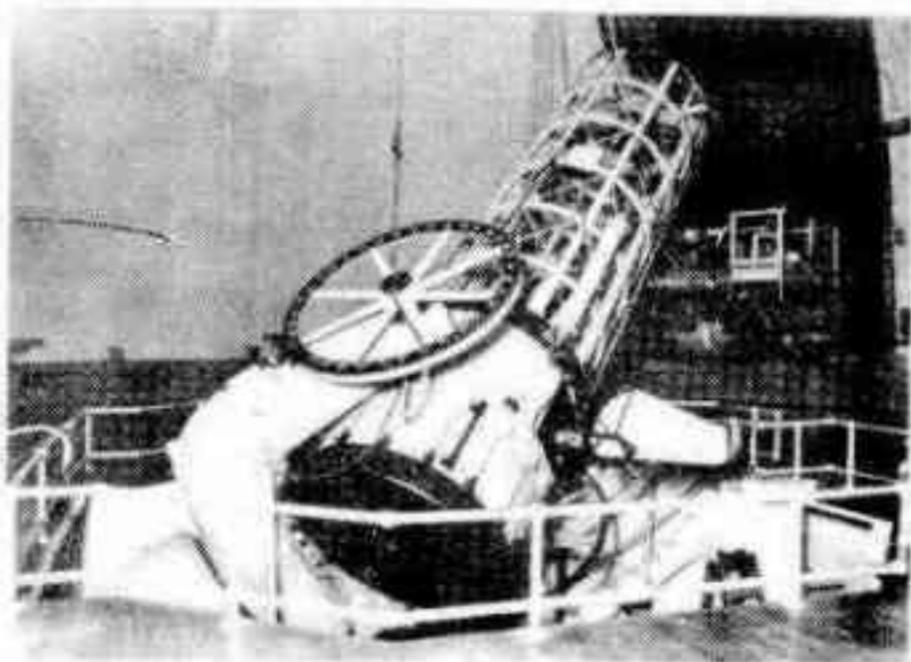
El 26 de noviembre de 1896, a raíz de un accidente provocado por un caballo desbocado, pierde la vida. Termina a los 72 años una existencia llena de triunfos y laboriosidad al servicio de la Astronomía mundial.

Al dejar Gould la dirección del Observatorio, es nombrado para sucederle John M. Thome.

Thome fué discípulo de Gould y uno de sus más eficaces colaboradores; continuó

los trabajos que habían quedado inconclusos, comenzando otros de no menor jerarquía, que seguirán dando prestigio al Observatorio Nacional Argentino.

Durante su gestión, tuvo Thome muchas dificultades debido a la carencia de los fondos necesarios para llevar a buen término los trabajos que realizaba; con tal motivo, recibe una carta del director del Observatorio de Paris, M. Loewy, que decía: "Vengo a saber que el Observatorio de Córdoba se encuentra amenazado por dificultad del presupuesto y que tiene usted serias preocupaciones respecto a sus publicaciones.... Si yo fuera llamado a dar mi apreciación a los representantes de su Gobierno, les diría que el Observatorio de Córdoba no es solamente una gloria para la República Argentina sino para el mundo entero..." No obstante las dificultades de orden económico, Thome siguió con ahínco trabajando en su obra monumental llamada "Córdoba Durchmusterung". Este trabajo científico contiene 613.718 estrellas entre  $-22^{\circ}$  y el Polo Sur, y es producto de más de dos millones de observaciones.

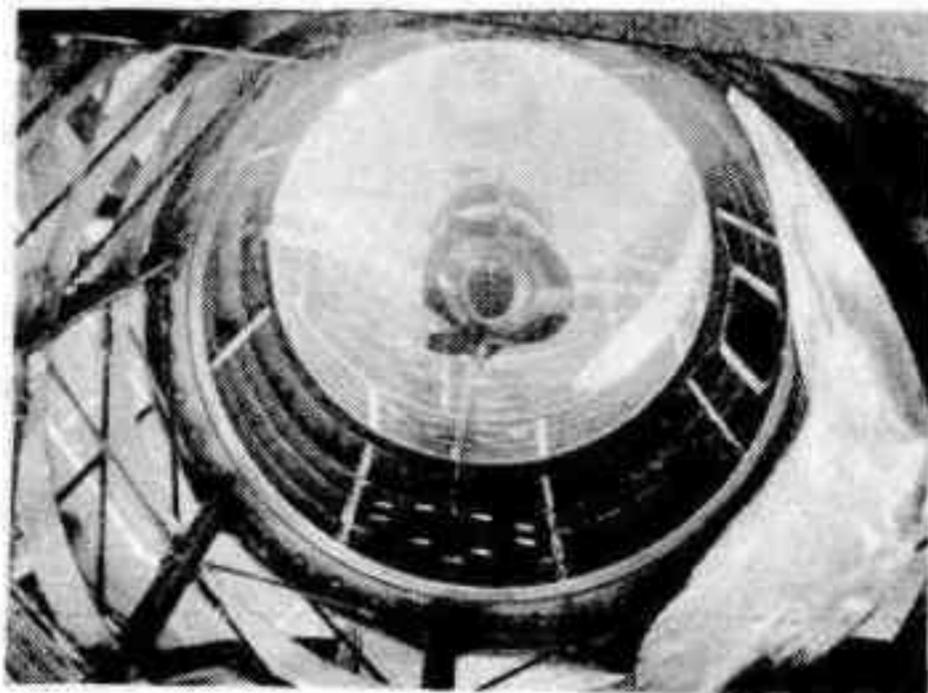


Cuando Thome, en el año 1900, asiste al Congreso Astronómico de París, recibe una calurosa ovación de parte de sus colegas, que en esta forma daban su aprobación unánime a los trabajos que Thome había emprendido, y que explicara con toda sencillez.

Juan M. Thome fallece el 27 de setiembre de 1908, luego de casi cuarenta años de ininterrumpida labor en el Observatorio de Córdoba, habiendo tomado parte principalísima en todos los trabajos importantes que se llevaron

a cabo desde su fundación y dejando a sus sucesores innumerables tareas para terminar en el curso de los años siguientes.

A Thome le sucede en el cargo de director el Dr. Carlos Perrine, quien con sus colaboradores completó, luego de muchos esfuerzos y estudios, el "Córdoba Durchmusterung" que había dejado inconcluso su antecesor.



Desde el principio del siglo venía desarrollándose una nueva rama de la Astronomía: la Astrofísica. Esta nueva ciencia requería instrumentos de mayor alcance que el que tenían los existentes en Córdoba.

No queriendo quedar rezagado, Perrine se da a la tarea de ver si puede colocar al Observatorio a la altura de sus similares en el mundo, y pide al Gobierno Nacional la conformidad para hacer construir un gran telescopio, que alojara en sus entrañas un espejo reflector de 150cm. de diámetro. Hasta ese entonces existían en el mundo de la astronomía, sólo dos grandes telescopios: en Monte Wilson, uno de 150cm, y el refractor de 100cm de Yerkes.

Mientras el Congreso tenía a consideración el presupuesto que había elevado Perrine, éste inició en el extranjero los tratos pertinentes para la construcción de todo lo que concerniese al futuro telescopio.

En ese entonces el óptico de más prestigio en el mundo en la construcción de grandes espejos era Ritchey: no hacía mucho que había terminado un espejo de 60 pulgadas para el Observatorio de Monte Wilson con todo éxito, teniendo en carpeta para el mismo Observatorio el diseño de un espejo de 250 centímetros

A él se dirigió Perrine, pidiéndole presupuesto por un espejo de 60 pulgadas, incluyendo el vidrio y la óptica. Pasó el tiempo entre ofertas y contraofertas, sin que se llevara a cabo la construcción del espejo por Ritchey.

Al mismo tiempo, Perrine contrató con la casa Warner y Swasey, de Cleveland, la construcción de una cúpula giratoria de 18 metros de diámetro y la montura que pudiera albergar al gran telescopio.

Mientras tanto, Perrine decide que la óptica del espejo se realice en Córdoba, construyendo para tal fin un edificio que fuera apto, en el cual se pudiera tallar el vidrio. Dicho vidrio es adquirido por Perrine en Francia a la casa Saint-Gobain, llegando a Córdoba el 28 de marzo de 1913.

Largos años pasan sin que se pueda terminar la óptica. En 1922 se terminan la cúpula y la montura del telescopio, siendo instalados años después en un hermoso y soberbio edificio construido por Arquitectura de la Nación.

Mientras tanto, el trabajo de óptica no se puede terminar por la falta de un óptico capaz de llevarlo a feliz término.

En 1936 se le concede al doctor Perrine la jubilación extraordinaria, siendo intervenido el Observatorio.

Debe señalarse que durante la gestión del doctor Perrine no se descuidó la vieja tradición astronómica; muy por el contrario, se llevó a feliz término una obra de gran valor científico, la llamada "Carte du Ciel", que consistía en aplicar la fotografía al levantamiento de una gran carta, o, mejor dicho, de una serie de cartas, que cubriera el cielo hasta una magnitud considerablemente más débil que el límite de las cartas existentes o en preparación.

Perrine fue un pionero de la Astrofísica, pues con un telescopio íntegramente construido en Córdoba, en 1917, hizo importantes descubrimientos sobre galaxias y espectroscopía estelar.

El interventor, ingeniero Félix Aguilar, luego de observar el estado de cosas existentes a la fecha, aconseja al Gobierno mandar el espejo a un taller de óptica, a fin de que sea prontamente terminado.

Así lo hace Juan José Nissen, nuevo director del Observatorio, al terminar la intervención (primer argentino que ocupa ese cargo), mandando el espejo principal a EE.UU. en 1938, al óptico F.N. Fecker, quien se compromete a terminarlo en un año.

Dos años después, en 1940, queda terminado el espejo y reposa en Córdoba, mientras se da término a una serie de accesorios con los cuales el gran telescopio podrá funcionar perfectamente; es instalado en 1942 y se inaugura así la Estación Astrofísica de Bosque Alegre, el 5 de julio del mismo año. En esta forma se cumplía con el acuerdo de ministros del 30 de abril de 1912, que dispuso su creación para completar y extender la labor que se desarrollaba en Córdoba.

Durante la gestión del señor Nissen se llevó a cabo una importante contribución a la Astronomía mundial. Seis observatorios se encargan de la determinación de la distancia Tierra-Sol, correspondiendo a los Observatorios de El Cabo y Córdoba los primeros lugares de acuerdo con los pesos estadísticos atribuidos a los resultados.

El día de la inauguración de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre, concurren las más altas autoridades nacionales, encabezadas por el presidente de la República, doctor Ramón S. Castillo, el gobernador de la provincia, doctor Santiago H. del Castillo, y numerosas personalidades. A la sazón era director del Observatorio el doctor Enrique Gaviola.

En ese día histórico para la astronomía argentina, el ministro de Justicia e Instrucción Pública, doctor Guillermo Rothe, pronunció un discurso expresando: "Se le ofrece ahora a Córdoba la posibilidad de contribuir a la ciencia mundial en el campo de la Astrofísica en la forma altamente honrosa en que contribuye a la Astronomía desde hace setenta años...".

Al finalizar su alocución el señor ministro, el director del Observatorio dijo: "La concurrencia de tan elevadas e ilustres personalidades a este acto es altísimo honor y poderoso estímulo para nosotros, los astrónomos, ayudantes, técnicos y servidores del Observatorio.

"Sería demasiado fácil expresar nuestro agradecimiento con palabras. Fácil e inadecuado. Nuestro agradecimiento deberá ser demostrado con la obra científica que de nosotros se espera.....".

Así, nuestro Observatorio comenzó una nueva etapa en su vida, floreciente desde su fundación.

El gran telescopio necesitó muchos trabajos posteriores para que funcionara a la perfección. Estos trabajos, casi todos técnicos, fueron perfeccionados poco a poco por el hábil ingenio del señor Angel Gómara.

El 17 de julio de 1942, se tomaron las primeras fotografías directas desde el foco newtoniano, correspondiendo a los siguientes objetos: Omega Centauri (NGC 5139), 47 Tucanae (NGC 104) y regiones de la Nube Menor. Al tomar estas placas, aparecieron algunas dificultades de orden técnico, que fueron subsanadas rápidamente; comenzó su programa regular de trabajo el 12 de agosto.

Un espectrógrafo medianorelector con red óptica plana de  $40\text{\AA}$  por milímetro de dispersión, estaba prácticamente terminado y se comenzaban los trabajos en el taller mecánico para su instalación en el gran telescopio de Bosque Alegre.

Este espectrógrafo quedó finalmente terminado en todas sus partes, y luego de un profundo trabajo de prueba en el laboratorio de Córdoba, fue adosado al foco Cassegrain del telescopio de Bosque Alegre.

La noche del 18 de setiembre de 1943 sería otra de éxito para la astronomía argentina, pues los primeros espectros tomados dieron los resultados esperados por sus constructores.

Con ello quedó demostrada la alta precisión del trabajo hecho en Córdoba, que puso de manifiesto las bondades del primer espectrógrafo estelar construido en el hemisferio austral.

#### Referencias:

"Benjamín A. Gould" - Enrique Chaudet

"Juan M. Thome" - Enrique Legrand

"Sarmiento" - Juan José Nissen

"Bodas de Plata de la Estación Astrofísica de Bosque Alegre" - Carlos R. Fourcade

"Revista Astronómica" - Tomo XVI, N° III-IV año 1944. Tomo XV, N° III año 1943.

"Córdoba y sus circunstancias"; "El Observatorio Astronómico Nacional de Córdoba" - H. E. Moyano.

Cabe destacar que el diseño de este espectrógrafo se debe a la capacidad de trabajo y estudios realizados por el director del Observatorio, doctor Gaviola.

Se debe señalar también que, hasta la fecha, se han tomado miles de espectros con dicho instrumento, que a su vez han dado origen a publicaciones de gran valor científico que honran a sus autores y engrandecen al Observatorio de Córdoba, demostrando la alta calidad y rendimiento del espectrógrafo mencionado.

En 1943, se da término a la óptica de un reflector de 76cm., comenzando los trabajos de la montura correspondiente para el nuevo telescopio.

Al finalizar su gestión el doctor Gaviola, le sucedieron en el cargo: Ricardo Platzek, Francisco J. Bobone, Jorge Sahade, Livio Gratton y Jorge Landi Dessy, quien desde el 1° de enero de 1960 continúa en el cargo.

En la actualidad, el Observatorio Astronómico de Córdoba está compuesto por cinco departamentos, a saber: Astrofísica Estelar, Astronomía Extragaláctica, Astrometría, Astronomía Instrumental, y además de una sección de Cúmulos Globulares y otra de Cometas. Los trabajos que se realizan actualmente en el Observatorio de Córdoba son acordes con las especialidades de cada Departamento, y se publican en las grandes revistas especializadas del mundo astronómico, una de ellas el "Astronomical Journal", fundado por nuestro primer director.

Nuevos instrumentos incorporados al Observatorio Astronómico de Córdoba amplían los campos de investigación de sus astrónomos.

El 24 de octubre de 1971 encuentra al Observatorio Astronómico de Córdoba en la plenitud de su capacidad de investigación en sus primeros cien años de vida.

El Observatorio es y seguirá siendo lo que Sarmiento quiso: una gran Institución para un gran País.

Por: Jorge Landi Dessy  
 Observatorio Astronómico e IMAF  
 Universidad Nacional de Córdoba

Las Nubes de Magallanes son las dos galaxias más próximas a la nuestra y han permitido resolver muchos problemas y calibrar criterios para la exploración de las demás galaxias del grupo local y del Universo en general. Su nombre se origina en el viaje de Magallanes, citadas por el cronista Francisco Antonio Pigafetta (1491-1534), natural de Vicenza, quien fue uno de los pocos que regresaron a Sevilla en 1522 bajo las órdenes de Juan Sebastián de Elcano. Estos objetos fueron las primeras galaxias que el hombre descubrió -fuera de la nuestra-, pero hubo que esperar hasta este siglo para que el hombre pudiera establecer su naturaleza cósmica. A ello contribuyó el estudio de las estrellas variables efectuado desde la Boyden Station del Observatorio de Harvard, situada -por aquel entonces - en Arequipa, Perú.

En 1912, Miss Henrietta Leavitt, perteneciente a dicho Observatorio, estudió en la Nube Menor 25 variables del tipo denominado cefeidas, cuyos períodos estaban comprendidos entre 2 y 120 días. Al ordenar estas variables por período creciente, encontró, con sorpresa, que también lo estaban de acuerdo con su magnitud, de manera que las estrellas más brillantes eran las de período más largo. A esta relación se la denomina "relación período-luminosidad de las cefeidas", y desde entonces los astrónomos obtuvieron una norma para conocer las distancias en el Universo. Basta entonces cono-

cer su período de variación luminosa para tener la magnitud absoluta, que juntamente con la aparente y la absorción interestelar nos permite determinar su distancia. Sin embargo, quedaba por resolver un problema de calibración de esta relación, al no haber ninguna cefeida lo suficientemente cercana para poder determinarse su distancia por métodos trigonométricos. Es decir que se podía dibujar un mapa del Universo pero sin tener el valor correcto de su escala.

Hertzsprung, en 1913 y Shapley, en 1915, hicieron los primeros intentos de calibración. Se estimó las distancias de las Nubes de Magallanes en 90.000 años-luz, es decir, unos 28.000 parsecs. (Las actuales son del orden de 50 y 60 kiloparsecs respectivamente).

Entre las cefeidas conocidas de nuestra galaxia había un tipo especial, denominado RR Lyrae, o cefeidas de tipo cúmulo, cuyos períodos son menores de un día y cuya magnitud absoluta es prácticamente constante en función del período.

Estas variables eran ideales para fijar el cero de la escala del cual dependían las distancias absolutas del Universo. Durante años los astrónomos del Observatorio de Harvard continuaron estudiando las variables de ambas Nubes, llegando a conocerse varios centenares en cada una de ellas, sin poder hallar una sola cuyo período fuera menor de un día.

\* ) Adaptación y puesta al día del discurso pronunciado el 24 de octubre de 1969, con motivo de la incorporación del autor como miembro titular de la Academia Nacional de Ciencias.

En 1942, el reflector de 154cm de Bosque Alegre comenzó a trabajar regularmente en fotografía directa, y una de las primeras tareas a la que se dedicó —el entonces más poderoso instrumento del hemisferio sur— fue, precisamente, el estudio de las Nubes de Magallanes. Las dificultades en obtener material fotográfico durante la segunda guerra mundial, la aduana y el clima de Bosque Alegre —poco adecuado para este tipo de estudios— hicieron que fueran necesarios varios años para obtener el material en diversas regiones de las Nubes (Fig. 1). El astrónomo Martín Dartayet obtuvo una parte, siendo completado y elaborado posteriormente por el que escribe, con el asesoramiento y supervisión del doctor Walter Baade, de los Observatorios de Mount Wilson y Palomar. A fines de 1951 fueron enviados los primeros resultados al "Astrophysical Journal" apareciendo el trabajo en el número de marzo de 1952. La distribución de dicho número se realizó unos meses más tarde, de manera que al efectuarse en dicho año el Congreso Mundial de Astronomía en Roma (VIII Reunión de la Unión Astronómica Internacional) este trabajo no era conocido todavía por muchos investigadores. En la reunión de la Comisión de Galaxias de dicho Congreso, presidida por el doctor Baade, el autor manifestó que se habían encontrado variables del tipo cefeida con período menor de un día con amplitudes grandes, binarias eclipsantes y de período largo. Estas cefeidas eran de magnitud 17, aproximadamente, que era lo esperado para este tipo de estrellas.

Con el reflector de 188cm del Radcliffe Observatory, el doctor Thackeray<sup>2</sup> que había comenzado a trabajar poco tiempo antes, anunció que en los cúmulos globulares de la Nube Menor había encontrado variables con período menor de un día, cuya magnitud era del orden de la 19a.

El doble anuncio en dicha reunión creó una situación confusa. El doctor Harlow Shapley, del Observatorio de Harvard, se mostró escéptico, dado que el número de variables encontradas en Córdoba no era grande y podrían considerarse como variables pertenecientes al halo de nuestra Galaxia, proyectadas sobre la Nube Menor. Además, el sistema de magnitudes de referencia no era muy seguro y se consideraba que la relación período-luminosidad podía tener una dispersión del orden de una magnitud o más.

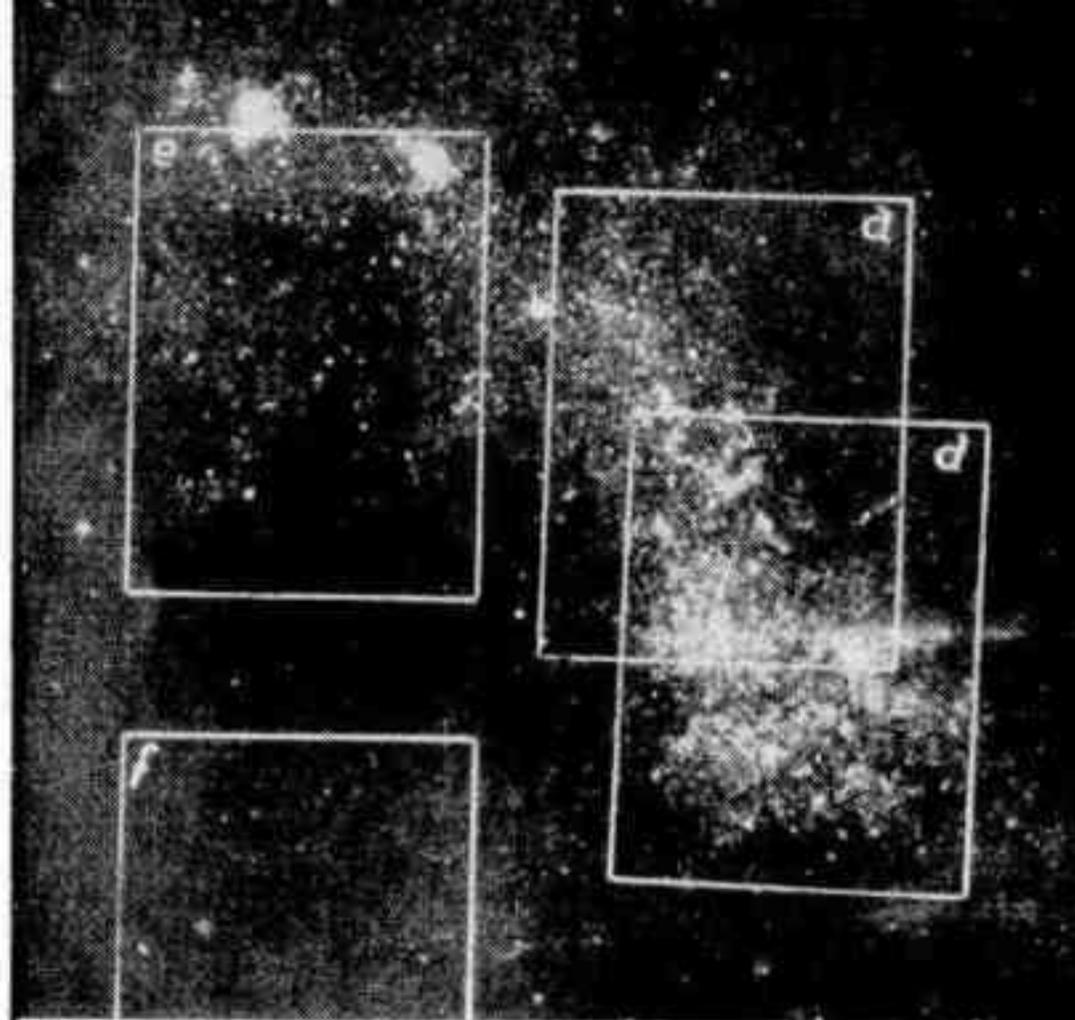


Fig. 1 - Regiones de la Nube Menor en estudio en Córdoba (Ap. J. 115, 279, 1952)

El doctor Baade manifestó, así mismo, que la escala del Universo estaba errada en un factor dos, aproximadamente, sobre la base de su estudio de las poblaciones estelares, de manera que las Nubes de Magallanes —con el descubrimiento de Thackeray de las RR Lyrae— se situaban a una distancia mucho mayor de la que se pensaba.

Se planteó el interrogante de si los dos tipos de cefeidas con período menor de un día representaban a ambas poblaciones, o se debía atribuir la diferencia en magnitudes a errores de los sistemas de referencia, a dispersión de la relación período-luminosidad o simplemente a que las variables encontradas en Córdoba no pertenecían en realidad a la Nube Menor. Se tardaría aproximadamente una década para aclarar la situación. En el trabajo realizado en Córdoba se podía observar que el diagrama período-luminosidad de la región observada no mostraba una discontinuidad entre las variables de Córdoba y las de Harvard, sino que las primeras se situaban como una extrapolación de ellas hacia períodos más cortos y magnitudes más débiles que las de Harvard, lo que era un argumento a su favor. Pero pronto surgió un argumento en contra; si este grupo de variables pertenecía a la Nube Menor, no podían cumplir con la ecuación de Eddington que relaciona el período con la densidad de la estrella.

a menos que en vez de pulsar en su período fundamental lo hiciese en una armónica, lo que parecía raro por aquel entonces (Fig. 2).

Las tareas fueron suspendidas por un tiempo en Córdoba por varias razones: 1) Había nuevos reflectores grandes en el hemisferio sur, situados en regiones de visibilidad astronómica más adecuada, lo que no justificaba ya el esfuerzo y tiempo requeridos con el reflector de Bosque Alegre, cuando éste era el único gran instrumento que podía proporcionar la información necesaria. 2) La situación política en el país hizo alejarse a varios astrónomos de Córdoba. 3) El traspaso del Observatorio a la Universidad y la creación del Instituto de Matemática Astronomía y Física que encauzó los esfuerzos por otros caminos.

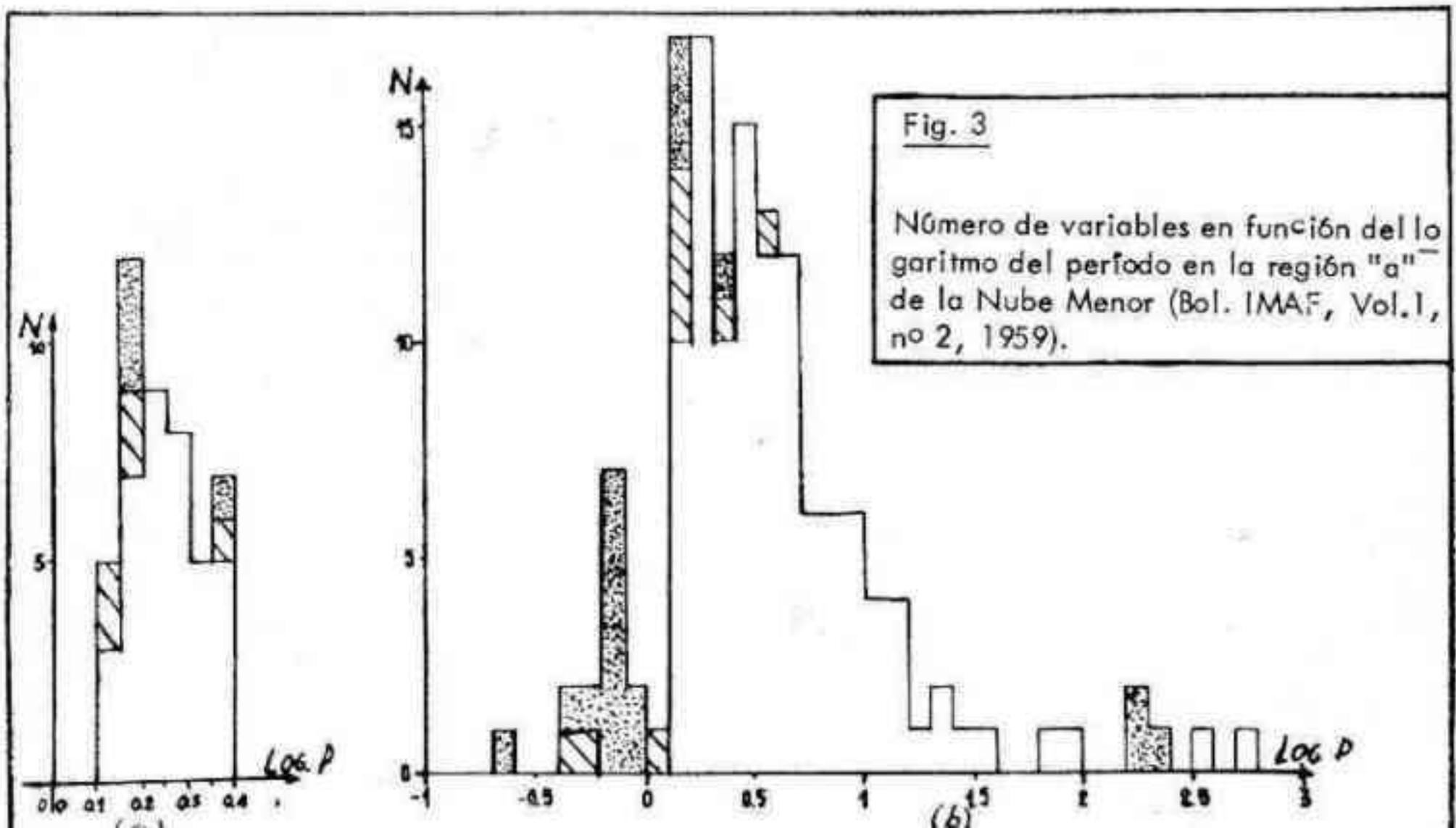
Sin embargo, transcurridos algunos años, se superaron algunas dificultades y se renovó el interés en el problema tanto en Córdoba como en otros lugares.<sup>3</sup>

Thackeray, en 1958 y Tift, en 1962, encuentran variables del tipo RR Lyrae en el campo general de la Nube Menor, cuyas magnitudes eran de 19,6. El que escribe publica un nuevo trabajo sobre 325 variables en la región de la Nube Menor, en donde se determinan períodos también de variables débiles de Harvard, y se muestra en él que se



0' 5' 10'

Fig. 2 - Región "a" de la Nube Menor.



ha completado la parte de períodos cortos del diagrama Número de variables versus Log. P (Fig. 3). El período más frecuente ocurre para  $1d5$ , con un máximo secundario de alrededor de  $2d8$ . Esto difiere con lo que ocurre en nuestra Galaxia y en la Nube Mayor.

Se consideró también que estas variables pertenecían realmente a la Nube Menor y eran de Población I, como lo sugería el nuevo diagrama período-luminosidad de la región estudiada (Fig. 4).

En 1963, nuevamente Thackeray, en un extenso trabajo de puesta al día sobre las Nubes de Magallanes<sup>5</sup> discute algunos tópicos relacionados con la labor desarrollada en Córdoba: "Estas estrellas son blanco-azuladas. Cuatro son clasificadas como binarias eclipsantes y ocho de las diez restantes son clasificadas como cefeidas en forma segura. Estas ocho estrellas tienen una magnitud aparente de  $17,0 \pm 0,2$  y son mucho más brillantes que las RR Lyrae de NGC 121 y regiones vecinas. Puede pensarse que algunas de ellas pertenecen al halo galáctico más bien que a la Nube Menor. No se conoce mucho sobre la frecuencia de variables RR Lyrae en el halo galáctico; sin embargo, Baade encuentra cinco alrededor de la magnitud 17 en un campo de 8,5 grados cuadrados. El campo de Dessy era de solo 0,6 grados cuadrados. Con estos datos es difícil atribuir más de una de las ocho cefeidas al halo galáctico. Es posible que el campo de Dessy haya sido estudiado más intensamente en

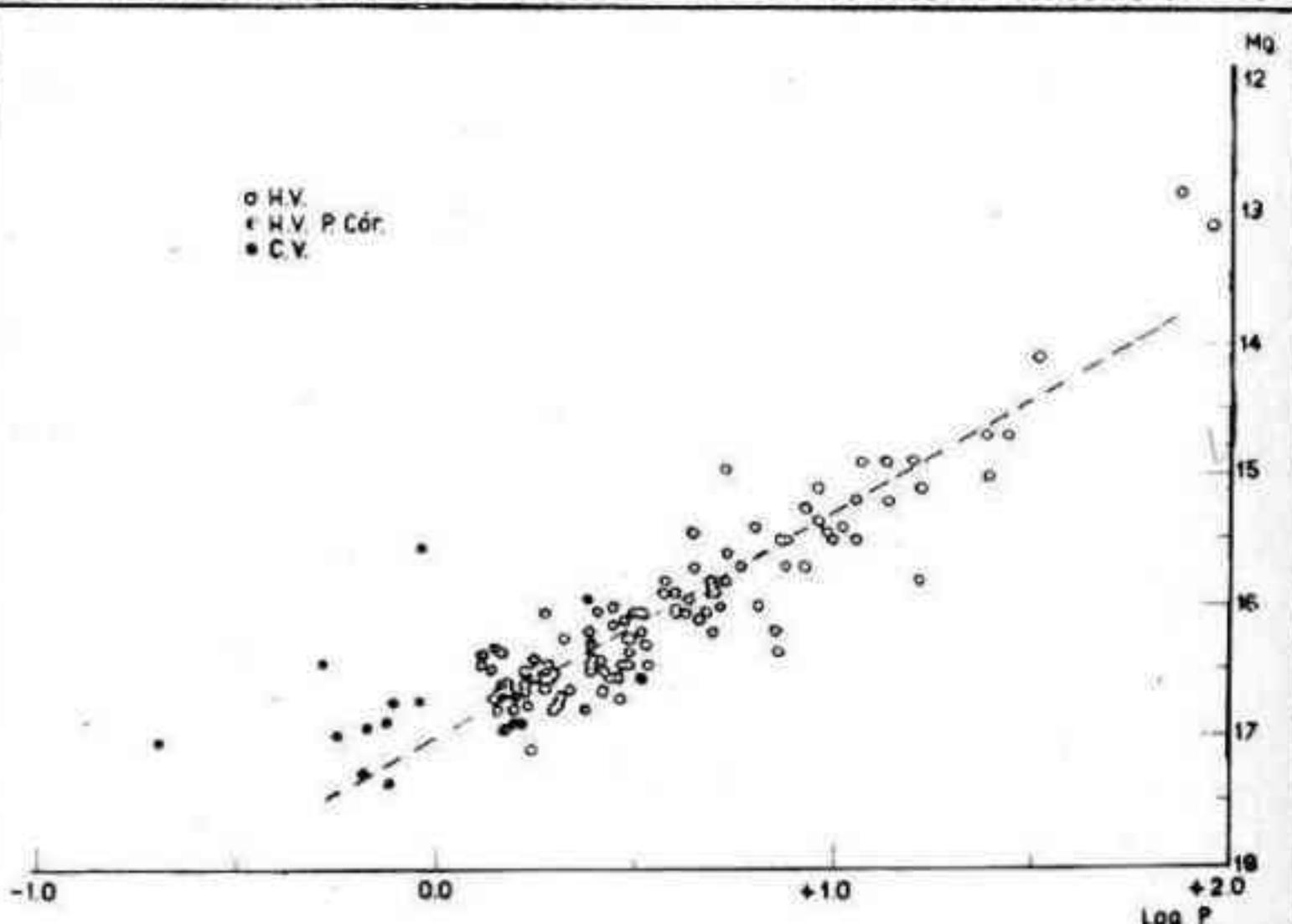
la búsqueda de variables y también es posible que estas estrellas sean algo más débiles que la magnitud 17, pero no queda casi duda de que la mayoría de estas estrellas son verdaderos miembros de las Nubes. Dessy considera estas estrellas como variables de Población I, en oposición a las variables más débiles de tipo cúmulo. Dessy (comunicación privada) está investigando un campo centrado en Co D-70°330 (Nube Mayor) y ha encontrado algunos cientos de variables no clasificadas todavía.

"Arp (1960) tiene una variable de Harvard (11.197) en la Nube Menor con un período de  $1d07$  en un campo de 1 grado aproximadamente, la que considera una de las variables de Dessy, a pesar de su magnitud  $B = 16,7$  es algo brillante. Arp considera esta variable como un miembro de la Nube que pulsa en una armónica. La posibilidad de que sea una estrella de fondo no ha sido excluida. Wesselink (1962; comunicación privada) ha encontrado cinco estrellas (de magnitud aparente 18, aproximadamente) en un campo rico de la Nube Menor, con período menor de un día, las que pertenecerían al mismo grupo que las variables de Dessy.

"Cerca de NGC 121 descubrió Tift (1962) una cefeida de  $1d43$ , y en forma independiente del Observatorio de Radcliffe es considerada por Tift como el primer caso conocido de una cefeida de Población II en la Nube Menor. Esta clasificación está basada en las observaciones de Tift de

Fig. 4

Magnitudes fotográficas de Córdoba y Harvard en función del logaritmo del período.



magnitud y color ( $v = 18,05$ ;  $B-V = +0,35$ ).

“La información fragmentaria que se posee sugiere que existe una dispersión de por lo menos una magnitud en las magnitudes aparentes de las RR Lyrae de la Nube Menor para un período dado. Como en las cefeidas clásicas, hay pocas razones para suponer que se pueda atribuir a absorción variable. Dispersión interna en la relación P-L parece mostrarse para las RR Lyrae como para las cefeidas clásicas.

“La densidad espacial correspondiente a las 10 variables de Dessy consideradas como RR Lyrae pertenecientes a la Nube Menor es de 7 variables por  $Kpc^3$ , lo que es considerablemente menor que la densidad espacial de 20 cerca del Sol en el plano galáctico (Oort y Van Woerkom, 1941) y por lo tanto mucho menor que la densidad de las RR Lyrae cerca del núcleo galáctico. La densidad espacial de las RR Lyrae cerca de NGC 121 es probablemente mayor, pero hasta que no se haya efectuado una búsqueda mucho más exhaustiva de estos difíciles objetos no se pueden hacer comparaciones con la Galaxia. Como se mencionó antes, Arp y Kraft encuentran la densidad espacial de las cefeidas clásicas mayor en la Nube Menor que cerca del Sol”. Hasta aquí el comentario de Thackeray.

Los estudios de Córdoba en la Nube Mayor<sup>6</sup> no llevaron a encontrar una sola variable de período menor de un día como en la Nube Menor a pesar de tener material disponible mejor en cantidad y calidad que para la Nube Menor. Esta fue, probablemente, la primera diferencia que se encontró entre ambas Nubes, según lo ha manifestado Cecilia Payne Gaposchkin, del Observatorio Harvard; además, convenció a muchos de que las variables encontradas en la Nube Menor no eran del halo de la Galaxia, pues es difícil aceptar que justamente se proyecten sobre la Nube Menor, cuya latitud galáctica es más elevada y no sobre la Mayor cuya latitud galáctica es más baja.

Gascoigne y Kron (1965) sobre la base de observaciones fotoeléctricas, mostraron que la relación período-luminosidad liberada de efectos de enrojecimiento muestra una desviación media para las cefeidas individuales del orden de 0,1 de magnitud, pero sus curvas llegan hasta magnitud 16 solamente. Este apartamiento

es el que hay que esperar debido a los espesores de la Nube Mayor y Menor en la dirección de la visual.

En marzo de 1969 se realizó un Simposio sobre las Nubes de Magallanes en ocasión de la inauguración del European Southern Observatory (Santiago de Chile). Allí se presentaron algunos trabajos sobre variables. S. Gaposchkin y C. Payne Gaposchkin hicieron un estudio completo de las variables de ambas Nubes hasta la magnitud 16,5 aproximadamente, habiendo encontrado lo siguiente:

	Variables por $kpc^3$			
	Nube Mayor	Nube Menor	Nube Mayor	Nube Menor
Cefeidas	1111	1155	28,5	115,5
Cefeidas II W Vir.	17	3	0,4	0,3
Largo período	59	24	1,5	2,4
Irregulares	321	62	8,2	6,2
RR Lyr (de fondo)	28	31	—	—

Encuentran diferencias en algunos parámetros entre las Nubes y la Galaxia:

	Media de log P	Log. P para amplitud máxima
Galaxia	0,785: ( $6^d1$ )	0,8
Nube Mayor	0,625: ( $4^d2$ )	0,6
Nube Menor	0,422: ( $2^d6$ )	0,4

Se debe tener en cuenta que para la Nube Menor la estadística no es completa en períodos cortos por no alcanzar la magnitud límite de las placas empleadas por los Doctores Gaposchkin; la media de  $2^d6$  coincide bastante bien con el máximo secundario de  $2^d8$  encontrado por el autor.

Pero como se vio, también existía un máximo absoluto de alrededor de  $1^d5$ .

Sin embargo, no se puede generalizar el problema fácilmente; por una parte, los doctores Gaposchkin estudian placas que cubren toda la Nube Menor, pero con alcance en magnitud del orden de 16,5 si se desea estar seguro

de no omitir variables. El autor, al ir a magnitudes más débiles, necesariamente tuvo que emplear un reflector con campo reducido, de manera que la primer muestra abarca toda la Nube, mientras que la segunda, si bien es más completa por alcanzar 2,5 magnitudes más, se refiere solamente a una región relativamente pequeña de ella, y no estamos seguros de que en toda la Nube Menor el período más frecuente se mantenga constante.

La solución del problema implica tener grandes reflectores con campo mayor de un grado y libres de coma. Hasta el presente, solamente existe uno de 150cm. anastigmático con placa parafocal instalado en Cerro Tololo, Chile (AURA), cuyas imágenes son menores de medio segundo en un campo de un grado y medio de diámetro.

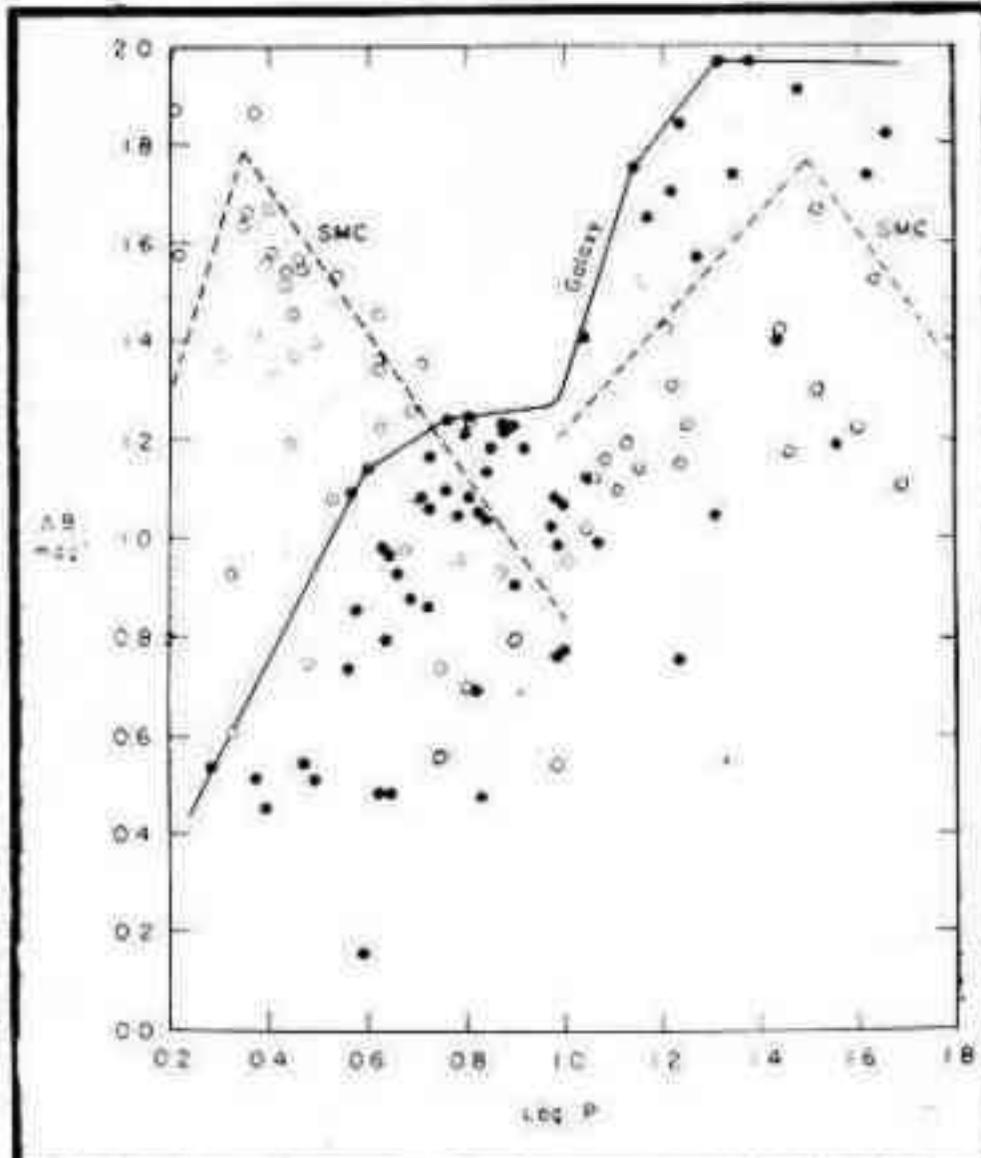


Fig. 5 - Amplitud de la curva de luz en función del log. P.

En el Simposio mencionado hubo otras novedades, en cuanto a variables se refiere: Tackeray lee un trabajo de Evans donde encuentra una verdadera variable de tipo Mira en la Nube Mayor con características similares a las de la Nube Menor

R.F. Christy muestra en un extenso trabajo teórico que las variables del tipo cefeida pueden pulsar no solamente en la primer armónica, sino también en la segunda.

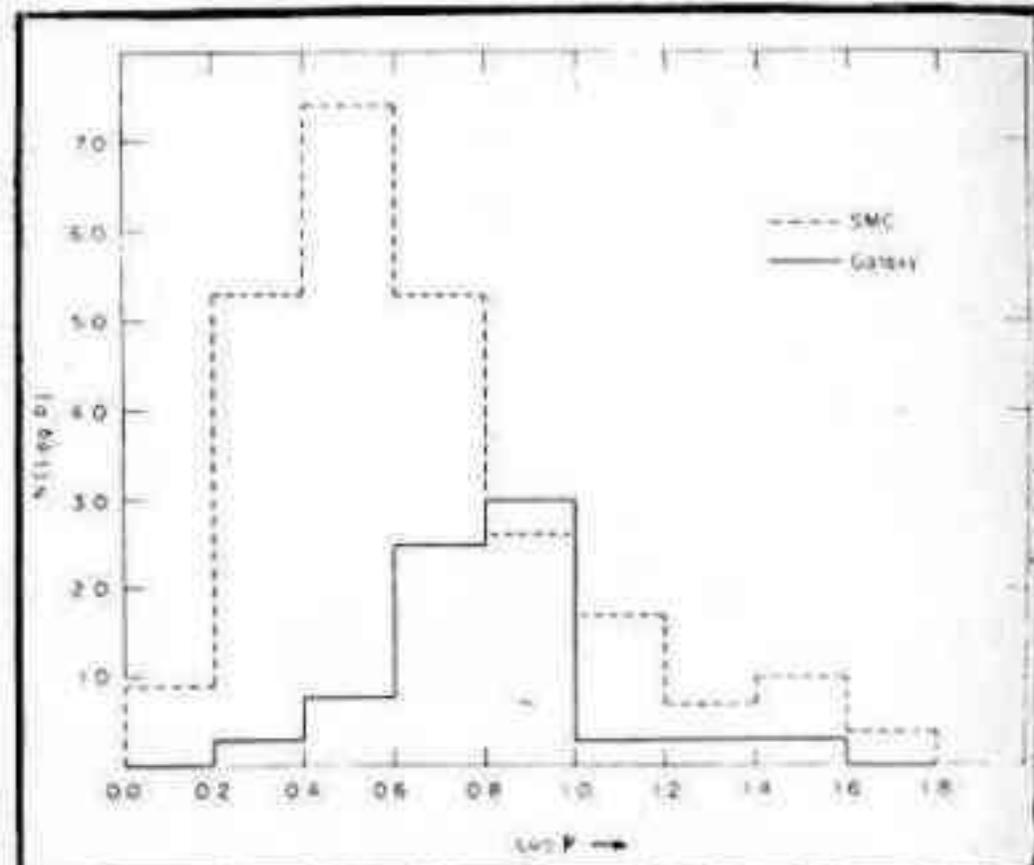


Fig. 6 - Número de variables en función de log. P en la Nube Menor (Nube Menor, punteado, y la Galaxia, trazo lleno) De Arp H.C. and Kraft R.P., 1961, Ap. J. 133, 420.

El autor, en colaboración con R. Laborde, presentó los resultados de una nueva búsqueda de variables en una nueva región de la Nube Menor situada en el ala, en la cual la densidad es mucho menor que sobre la barra. Se encontraron 177 variables nuevas además de las 76 ya conocidas por la labor realizada en Harvard. El número relativo entre las variables de Córdoba y Harvard para esta zona confirma que, para magnitudes débiles, los gráficos y diagramas distan mucho de ser completos. Estas nuevas variables son de variación de brillo muy rápido; el 50% de ellas pueden encontrárselas en pares de placas tomadas con un intervalo de 0<sup>d</sup>27 o menor, y el 30%, en pares de placas con intervalos menores de 0<sup>d</sup>15.

En la región "a" estudiada en la Nube Menor -hace veinte años- el número total de variables era más del doble, pero el porcentaje de variables rápidas solamente alcanzaba el 40%. Esta región se halla sobre la barra de la galaxia (Fig. 1). Estas variables rápidas y de magnitud mayor que las de Harvard, pertenecen, con gran probabilidad, al grupo encontrado en Córdoba y que se considera de Población I

Westerlund, en un trabajo presentado en el Simposio al que ya se hizo referencia, encuentra en el ala de la Nube Menor objetos de extrema Población I, lo que concuerda con lo observado en las variables.

El número de variables adicionales halladas en Córdoba, al extender la observación hasta dos magnitudes y media más que lo estudiado por Harvard, resulta el doble, aproximadamente. Si este estudio se extendiera a toda la Nube Menor, el número total de variables llegaría fácilmente a cuatro o cinco mil; estudiarlas a todas sería una tarea tremenda y que llevaría mucho tiempo. Más interés tiene estudiar exhaustivamente las variables de una región o dos, situadas en partes morfológicamente diferentes de las Nubes.

En el primer trabajo publicado -por el autor-, hace veinte años, también se estudiaron algunas variables eclipsantes de magnitud entre 16,5 y 17,5 que resultaron ser del tipo Beta Lyrae y cuya magnitud absoluta resulta ser del mismo orden de las existentes en nuestra Galaxia. Se espera que con el reflector de 769 mm. a instalarse próximamente en Bosque Alegre, cuya óptica fué elaborada en los talleres del Observatorio, y con el fotómetro fotoeléctrico integrador aplicado a aquél, se puedan estudiar con todo detalle estas variables con el objeto de obtener elementos orbitales (Ver tabla 1).

Para establecer con seguridad las magnitudes de este grupo de variables hallado en Córdoba y conocer el número de las correspondien-

tes al halo de nuestra Galaxia que puedan encontrarse en la misma latitud galáctica, se ha realizado en octubre de 1969 un programa especial empleando el reflector de 152cm de Cerro Tololo en forma aplanática, con un campo útil de casi un grado, y simultáneamente, el reflector de 154cm de Bosque Alegre. Con ambos instrumentos se ha observado: 1) La región "f" de la Nube Menor en el sistema UBV, efectuando traspasos fotométricos con el cúmulo 419 situado a menos de un grado; 2) Regiones de control a 45° de latitud galáctica, y separadas en dos horas de longitud hacia ambos lados de la Nube Menor. Una inspección preliminar no ha encontrado este tipo de variables en dichas regiones. Las tareas en ambos Observatorios fue realizada por personal del Observatorio de Córdoba.

Recientemente, A.M. van Genderen<sup>8</sup> ha realizado un extenso estudio sobre las cefeidas de Población I en dos colores; el alcance de sus placas es de magnitud 18 en B y 17,5 en V. Estudia cinco cefeidas del grupo encontrado en Córdoba con  $P < 1^d$ , y concluye que la magnitud media visual absoluta de estas variables es de -2,4; adoptando un módulo de distancia de la Nube de 19,0, una absorción media en la Nube Menor de 0,6 y una absorción de fondo de nuestra Galaxia de 0,15. Este trabajo es sumamente extenso e interesante, pero su comentario nos llevaría otro artículo. Sin embargo, el propósito de este trabajo ha sido comentar temas en los que el Observatorio de Córdoba ha contribuido en forma directa.

TABLA I

Binarias eclipsantes

C.V. *	Período	M A G N I T U D			Amplitud
		Máximo	Mínimo I	Mínimo II	
5	0 <sup>d</sup> 768890	16,62	17,20	17,17	0,58
18	0 <sup>d</sup> 496686	15,98	17,00	16,91	1,02
229	1 <sup>d</sup> 04318	15,70	16,38	16,19	0,68
9	0 <sup>d</sup> 83629	15,73	16,63	16,16	0,90
108	0 <sup>d</sup> 501098	16,28	16,67	16,63	0,39

d = día

\* C.V. = Variable de Córdoba

A pesar de todos los esfuerzos realizados en los diversos Observatorios, la distribución del tipo de variables con la estructura morfológica de cada Nube está lejos de ser completamente conocida, y se necesitarán muchos años de esfuerzos para lograrlo; y esto se refiere solamente a uno entre los tantos problemas que presentan estos objetos.

El nuevo instrumental que se está instalando en el hemisferio sur, tanto en el dominio de los telescopios ópticos como en el de los radiotelescopios, detectores de rayos X y Gamma proveerá a los astrónomos de medios eficaces para poder investigar en las Nubes de Magallanes por lo que resta de este siglo, pero seguramente seguirán presentándose temas de investigación también para el siglo venidero.

### Referencias:

- 1) M. Dartayet y J. Landi Dessy - Ap. J. 115, 279, 1952.
- 2) A.D. Thackeray y A.J. Wesselink - "Nature" Lond. 171, 693, 1952.
- 3) J. Landi Dessy - Bol. del IMAF, Vol 1, nº 2 (1959), Córdoba.
- 4) J. Landi Dessy - P.A.S.P. 21, 435, 1959.
- 5) A.D. Thackeray - "Advances in Astronomy and Astrophysics", Vol. 2, 263, Academic Press New York and London - 1963.
- 6) J. Landi Dessy - IAU-URSI, Symposium nº 20, p. 377 Australian Academy of Science, Canberra - Australia - 1964.
- 7) J. Landi Dessy - R. Laborde - New variables in the Minor Cloud (Region f) observed at Córdoba Observatory. Symposium on the Magellanic Clouds (1969) - European Southern Observatory - Chile.
- 8) A.M. van Genderen - "Two-colour photometry of Population I Cepheids in the Small Magellanic Cloud and a comparative study using similar observations in other stellar systems" Leiden, 1969.

Observatorio Astronómico de Córdoba



Por: José L. Sersic  
Observatorio Astronómico  
Universidad Nacional de Córdoba  
C.N.I.C.T., Buenos Aires

### 1.- Primeras observaciones

Puede conjeturarse con bastante seguridad que las civilizaciones precolombinas de esta parte de América tenían muy presente la existencia de esas dos nubes luminosas separadas de la franja de la Vía Láctea que hoy conocemos como Nubes de Magallanes. El interés de los primitivos habitantes de Sudamérica por los fenómenos del cielo tiene sobradas manifestaciones en pinturas rupestres -tales como las del Cerro Colorado- y en la tradición oral de los guaraníes\*\* de suerte que tales asterismos no escaparon a la observación de los humanos, produciéndose así -inconscientemente- el primer contacto visual con sistemas exteriores al que nos aloja.

Si bien la descripción de estos objetos hecha por Pigafetta, cronista del viaje de Magallanes alrededor del mundo entre 1518 y 1520, le valió a este último perpetuar su nombre en ellos, las Nubes ya habían sido descritas por Pedro Martyr d'Anghiera, historiador italiano al servicio de los Reyes Católicos, unos ocho años antes. Dice d'Anghiera:

"... aparecieron aquí y allá por entre las "estrellas unas nubes blancas y brillantes, pa-  
"recidas a las que se ven en la zona de los  
"cielos denominada Vía Láctea".

Es, sin embargo, en los escritos del astrónomo persa Abd al Rahman al Sufi donde hallamos la mención más antigua -Siglo X de nuestra era- de "una pequeña nube celeste" observada y conocida por los astrónomos árabes, que no aparecen en los primeros catálogos de estrellas a pesar de que los antiguos debieron percibirla tan bien como nosotros: se trata de la hoy bien conocida galaxia de Andromeda. El primero que la observó en Europa fue Simón Marius, de Franconia, quien refiere haberla visto por primera vez con "el auxilio de un anteojo" el 15 de diciembre de 1612.

"La intensidad de su luz -dice- crece de "la periferia al centro. Presenta el aspecto de "una bujía vista a través de una placa córnea, "y la encuentro semejante al cometa de 1586. Si es nueva o no, es cosa que no puedo decir. "Tycho Brahe, que ha fijado con esmero la po-  
"sición de la estrella próxima (Nu) no hace  
"mención de ella".

Aunque en los escritos de d'Anghiera y Marius no encontramos especulación alguna respecto de la naturaleza de los objetos por ellos descritos, hallamos en cambio elementos primitivos de las técnicas que siglos más tarde habríamos de usar intensamente los astrónomos pa-

---

\* Disertación inaugural, en ocasión de la incorporación del autor a la Academia Nacional de Ciencias (Córdoba, octubre 24 de 1969)

\*\* Dice Oscar Ferreiro (Poeta y antropólogo paraguayo) en SUR 292, 39, 1965: "Las galaxias o nebulosas del sur que el cristianismo trocó en Tupasy Ikua (Manantiales de la Virgen) se llamaban antiguamente Yuakua o Yuaykua (Los manantiales del Cielo). Poética imagen del Ykua Sati, la clara fuente, tan celebrada por la masa popular paraguaya. Estas galaxias constituyen para los Aua las moradas del Pa'i Ta, el venerado inventor del fuego. En cambio los Chiriguaná las llaman Kuña Guai Rataypy o Rande Sy Rataypy a una de ellas y Aua Naichi Rataypy a la otra nebulosa (Fogata de la Vieja y Fogata del viejo Naichi)".

ra caracterizarlos: me refiero a las estimaciones de la distribución de brillo superficial (en el caso de Marius) y la intensidad del mismo (en el de d'Anahiera).

Una de las primeras especulaciones sobre la naturaleza de los objetos a que nos referimos la encontramos (alrededor de 1700) en las palabras de Edmund Halley respecto de la Nebulosa de Andrómeda, que transcribimos literalmente, dada la obscuridad de su pensamiento: "the spot is nothing else but the light coming from an extraordinary great space in the ether, through which a lucid medium is diffused that shines with its own proper lustre". El autor intuye vagamente la grandiosidad del escenario donde las galaxias aparecen, ese escenario que hoy sabemos se halla lleno de radiación difusa y es de vastas dimensiones.

## 2.- El concepto de Universo-Isla

En un trabajo impreso en 1755, pero que no vio la luz, Immanuel Kant desarrolla sus ideas cosmogónicas identificando las nebulosas -como genéricamente se llamaba entonces a los objetos de apariencia difusa- con sistemas de estrellas de estructura discoidal semejantes a aquel en que se encuentra el Sol y que conocemos como Vía Láctea. Kant se inspiró en una obra de Thomas Wright, de 1750, que proponía para las estrellas una distribución semejante a la de los planetas en el sistema solar. Kant fue mucho más allá que Wright al extender el concepto a las nebulosas, con una intuición tanto más genial cuanto que, como veremos, no fue hasta la tercera década de este siglo cuando se estableció fehacientemente el carácter externo de las galaxias.

El filósofo de Königsberg razonaba que las nebulosas al presentar un diámetro aparente finito debían ser enormemente mayores que las estrellas y no concebía que objetos tales pudieran existir con tan débil brillo. En consecuencia -razonaba- deben de estar constituidos por muchas estrellas y estar muy lejos. Explicó su forma aplanada considerando la acción de la gravitación y la fuerza centrífuga, postulando así la rotación galáctica, demostrada cuantitativamente dos siglos después.

Pero no acaban las geniales conclusiones de Kant. Dice, refiriéndose a las nebulosas: "esos universos no carecen de relación entre

"sí, y por sus mutuas interacciones constituyen un sistema aún más inmenso". Nuevamente habría que esperar dos siglos para que la idea de que las galaxias son sistemas gregarios, generalmente asociados entre sí en cúmulos, nubes o grupos, se afirmase y comprendiese.

Para terminar esta referencia a Immanuel Kant citaré a G.C. Whitrow cuando dice:

"..... el hombre a quien debe darse crédito por un particular descubrimiento científico, es aquél que primero haya convencido a la comunidad científica. En tal sentido continúa Whitrow - el verdadero descubridor de lo que hoy creemos es la verdadera naturaleza de las nebulosas extragalácticas es el norteamericano Edwin Hubble, en 1924. Pero ello no debería disminuir nuestra admiración por la perspicacia intelectual de sus predecesores, de quienes Kant, si no fue el primero, fue el más completo y convincente en los argumentos presentados en favor de la pluralidad de las Vías Lácteas".

William Herschel pertenece a la generación posterior a Kant. Su enfoque del problema de las galaxias fue enteramente opuesto al del filósofo. La observación, intensiva, cuidadosa y sistemática de los cielos, dominó su vida. Construyó telescopios cada vez mayores y prolongó sus investigaciones en su hijo John. La concepción de Herschel del Universo es la de un sistema único constituido por estrellas con el Sol en el centro. Notó que las nebulosas tendían a resolverse en estrellas cuando eran observadas con instrumentos cada vez más poderosos, e interpretó, aquellas que no podían resolverse, como objetos gaseosos que habrían de condensarse en estrellas siguiendo los lineamientos de Laplace. El drama de Herschel, muy frecuente en la ciencia actual, es el del exceso de datos a punto tal que superan la capacidad de síntesis del investigador.

Herschel no vio el bosque porque estuvo muy ocupado en contar los árboles uno por uno. Y en ello radica su mérito, pues sus catálogos de cúmulos y nebulosas sentaron las bases para las exploraciones fotográficas que habrían de hacerse un siglo después. Su primer catálogo data de 1786 y contenía 1.000 cúmulos y

nebulosas; fue seguido en 1789 por una segunda edición, con otros 1.000 objetos adicionales, y en 1802 por una lista de 500. Su hijo John extendió el trabajo al Hemisferio Sur, desde Ciudad del Cabo, y en 1864 publica su "Catálogo General" con 5.079 objetos, de los cuales 4.630 fueron descubiertos por ambos Herschel. En 1868 hace su aparición el catálogo de Dreyer (NGC) y en 1895 y 1908 aparecen dos apéndices (IC). Las exploraciones finalizaron en esa época, y a pesar de conocerse las posiciones de unos 15.000 cúmulos estelares y nebulosas, la naturaleza de estas últimas seguían siendo un misterio. La solución comenzó con la era de los grandes telescopios reflectores: el de 60 pulgadas en 1908 y el de 100 pulgadas en 1919 en Monte Wilson y la incorporación de la fotografía como elemento objetivo y perdurable para acumular las observaciones. Todo se reducía entonces a conocer las distancias de las nebulosas. Si éstas eran pequeñas comparadas con las dimensiones de nuestro propio sistema, las nebulosas formarían parte de él; por el contrario, si eran grandes, serían galaxias en su propio derecho: los universos-islas de Kant.

En "The Realm of the Nebulae" (1926) Edwin Hubble planteó así el problema: "El status de las nebulosas era indeterminado porque las distancias eran completamente desconocidas. Estaban definitivamente más allá de los métodos de medición directa, y las escasas e indirectas evidencias llevaban a interpretaciones diferentes. Las nebulosas podrían ser objetos relativamente cercanos y por consiguiente miembros de nuestro sistema estelar, o podrían ser lejanos y por lo tanto habitantes del espacio exterior.

"En este punto el desarrollo de la investigación vino a tomar contacto directo con la teoría filosófica de los universos-islas. La teoría presentaba en principio una alternativa al problema de las distancias nebulares. La cuestión de las distancias se planteaba entonces con frecuencia así: Son las nebulosas universos-islas?"

La solución vino inesperada y dramáticamente, al decir de Sandage, al descubrirse por azar en 1917 una nova en la nebulosa NGC 6041. El H. J. Ritchey a buscar más obje-

tos de esta naturaleza en la colección de placas de Monte Wilson y a Curtiss a hacer lo mismo con las placas del telescopio de 36 pulgadas de Lick. La búsqueda fue fructífera, y Harlow Shapley discutió los resultados fotométricos para las seis novas encontradas llegando, al igual que Curtiss, a la conclusión de que si estas novas eran comparables a las veintiseis ya descubiertas en nuestro propio sistema -la Vía Láctea- la nebulosa de Andrómeda debería estar a un millón de años luz de distancia, lo que hacía vigente la teoría de los universos-islas, con lo cual las nebulosas resultaban ser galaxias externas, como Kant lo había intuido.

H. Curtiss, del Observatorio de Lick, aceptó la conclusión como cierta, mientras que H. Shapley la rechazaba no considerándola plausible. Esto dio origen a una célebre polémica que se extendió ocho años (1917 a 1925).

Las razones de Shapley se basaban, en forma substancial, en las mediciones de la presunta rotación de las nebulosas en espiral hechas en Monte Wilson por van Maanen. Si ellas eran correctas, como suponía Shapley, a esas distancias extragalácticas las velocidades lineales correspondientes superarían la velocidad de la luz, en contradicción con los postulados de la entonces flamante teoría de la relatividad.

Esta célebre polémica llegó a su fin con la intervención del sueco Knut Lundmark, quien clarificó la situación al demostrar la existencia de dos tipos de novas, las normales y las supernovas, y probó en su tesis doctoral que la distancia de la nebulosa de Andrómeda era, efectivamente, extragaláctica.

Tenía, sin embargo que tocar a Edwin P. Hubble poner punto final al debate al demostrar que varias de las galaxias próximas contenían estrellas variables cefeidas, de características similares a las halladas en nuestro sistema, pudiendo establecer estimas de distancias con una confianza no superada hasta entonces y que no contradecían los valores de Lundmark.

Esto ocurría en 1925, ciento setenta años

después de la impresión en Königsberg y Leipzig de un libro titulado "Historia Natural Universal y Teoría de los Cielos"; su autor se llamaba Immanuel Kant.

Así, pues, al iniciarse la tercer década del siglo XX llegamos por fin a la siguiente imagen:

El Universo tiene una estructura granular; sus componentes discretas, las galaxias, son sistemas compuestos principalmente de estrellas cuya distribución espacial muestra particulares simétricas que admiten diversas interpretaciones, siendo la más difundida las de figuras fluidas en equilibrio rotacional.

### 3.- Los sistemas estelares

En ocasión de la inauguración del Observatorio de McDonald, en 1936, aparece la memoria fundamental titulada "Principles of Stellar Dynamics", cuyo autor, Subramanyan Chandrasekhar, desarrolló y publicó luego en forma de libro. Contemporáneamente, Bertil Lindblad, desde Suecia, desarrollaba su teoría de la estructura espiral de las galaxias, y se iniciaba una nueva etapa en nuestro conocimiento de tales objetos.

Las galaxias eran consideradas entonces como agregados de masas puntuales, las estrellas, sometidas a sus interacciones mutuas dictadas por la gravitación newtoniana. Los cálculos de Chandrasekhar demostraron que la probabilidad de colisiones entre estrellas, en condiciones medias, era tan baja que en el lapso transcurrido desde la creación del Universo no habría tenido ocasión de ocurrir ninguna en un sistema como la Vía Láctea. La evolución dinámica de sistemas tales era tan lenta que podían ser considerados prácticamente estacionarios. La existencia de estructuras espirales se explicó con inestabilidades gravitacionales y resonancias orbitales. El determinismo de la estadística de los grandes números parecía dominar la escena y nada resultaba tan inmutable y parsimonioso en su andar como la serena rotación de las galaxias espirales.

Un núcleo dominante, una estructura intermedia de barra o disco y una estructura plana con brazos eran elementos básicos, que en variadas y simétricas combinaciones, pare-

cían explicar casi todas las posibles formas de galaxias. Solo un ínfimo porcentaje de ellas, denominadas genéricamente "irregulares", parecían sugerir que no todo era tan sencillo en el Universo.

### 4.- Las galaxias como sistemas que evolucionan

Al promediar el siglo XX dos descubrimientos marcan una drástica apertura del concepto de sistemas estelares tal como acabó de esbozar.

En 1944, Walter Baade muestra que en las galaxias coexisten diferentes poblaciones estelares con características propias tanto en las propiedades intrínsecas de sus componentes cuanto en las propiedades dinámicas de conjunto. Dentro de la misma línea, los soviéticos Kukarkiny Parenago introducen el concepto de subsistema, que es esencialmente la misma idea de Baade. Por otra parte, el advenimiento de la radioastronomía conduce en 1952 a demostrar que el contenido gaseoso de las galaxias es más grande de lo que se pensaba. Si a esto agregamos los progresos realizados en el campo de la evolución estelar, podemos imaginar fácilmente que la concepción estacionaria de las galaxias habría de cambiar, dado que ahora es factible comprobar que existían muchas otras interacciones entre las partes a través de otras leyes y procesos físicos además del de la sola gravitación.

El hecho de que una fracción de la masa de las galaxias se encuentre en forma no estelar, que las estrellas evolucionen y en el curso de sus vidas interactúen con el medio interestelar, sea cediéndoles momento o masa o ambas cosas a la vez, sea requiriendo masa para formarse (ya que existen fuertes sugerencias observacionales de una vinculación genética entre el gas interestelar y las estrellas), etc., muestra que la descripción de las galaxias por medio del modelo de sistema estelar es muy restringida, pues no considera interacciones tan importantes como la formación de estrellas, al menos en algunas etapas de la evolución de las galaxias. Realmente, el modelo de sistema estelar es una idealización del régimen cuasi estacionario que se establece cuando ya ha pasado la primer gran "oleada" de formación de estrellas, y en cierto sentido corresponde a la situación actual de la mayor parte

te de las galaxias más masivas de nuestra vecindad. Sin embargo, las características globales de las galaxias están determinadas por el modo de aproximación del sistema al estado cuasi estacionario, y es en este proceso de relajación donde debía buscarse la manera de estudiarlas.

Esta vía de ataque del problema hace incipiente en el hecho de que son las interacciones de las partes, y no su mera agregación, las que dan unidad al sistema.

Se llegó así a la siguiente imagen: una galaxia resulta ser ahora un sistema autogravitante termodinámicamente aislado, aunque no cerrado, en el que se desarrollan procesos irreversibles de transformación de unas componentes en otras. Su carácter es esencialmente evolutivo y es en esta evolución donde deberían buscarse los factores determinantes de sus formas y estructuras, cambiantes en el curso de los eones. Hasta aquí nuestra imagen de la evolución tranquila de las galaxias.

### 5.- Procesos violentos

Mientras todo lo anterior era entusiastamente aceptado por la mayoría de los astrónomos, un león clamaba en las desérticas mesetas de Armenia. Bajo la tutela del monte Ararat, en el Observatorio de Byurakan, Víctor Ambartsumián predicaba una imagen distinta: las galaxias sufrirían violentas crisis, sus núcleos se fragmentarían acompañados de erupciones de energía y eyecciones coherentes de masas compuestas por gas y estrellas. Dado que Ambartsumián basaba en ese entonces sus ideas en consideraciones puramente fenomenológicas, éstas repugnaron a la mayoría de sus colegas, pero nuevamente la radioastronomía mostró que dichos procesos violentos existen, y hoy los conocemos como radiogalaxias y quasars. La astronomía óptica supo entonces dónde encontrar aquellas galaxias y observarlas en el momento preciso de su violenta crisis. Lo que encontramos es una imagen alarmante, ya que carecemos aún del sustento teórico para interpretarla. En efecto, enteros fragmentos de galaxias, comparables en masa y dimensiones a otras tantas galaxias menores, parecen ser eyectadas en más de un caso. Estos procesos están acompa-

ñados de la liberación de energías del orden de  $10^{62-64}$  ergios a lo largo de una escala de tiempo tan corta como diez millones de años!

En una escala menor existen evidencias de procesos explosivos localizados en los núcleos de ciertas galaxias espirales que parecen estar asociados sólo a determinada etapa de su evolución.

Resulta en este momento imposible dar una imagen coherente de lo que hoy entendemos por una galaxia. Provisoriamente, podemos decir que resulta indiscutible el hecho de que la evolución de éstas no es lenta ni parsimoniosa, sino que en ciertas etapas de su historia abandonan su evolución tranquila y sufren crisis debidas a causas que aún ignoramos, aunque sospechamos su origen.

En efecto, dado que encontramos la sede de estos procesos en las regiones más densas (los núcleos), donde el potencial gravitatorio alcanza un máximo de su valor absoluto, muchos teóricos apuntan hacia este hecho como un índice de que en esas críticas condiciones deben buscarse nuevas leyes de la física, como lo sostuvo recientemente Fred Hoyle en su "Eddington Lecture".

Para finalizar, deseo insistir en una cita que tanto Hoyle como independientemente otro cosmólogo británico, McCrea, han hecho de unas palabras de Sir James Jeans escritas en su "Astronomy and Cosmogony", en 1929:

"El tipo de conjetura que se presenta por sí sola, a veces insistentemente, es que los centros de las nebulosas son de la naturaleza de puntos singulares en los cuales la materia es introducida a nuestro Universo desde alguna otra, enteramente extraña, dimensión espacial, de suerte que para un habitante de este Universo, ellos se nos aparecerían como puntos en los cuales la materia está siendo continuamente creada".

¿Debemos ver en estas palabras la intuición que iluminó a Kant hace doscientos años?

## METODO DE LAS DEPENDENCIAS

Por: Gualberto M. Iannini  
Instituto de Matemática Astronomía y  
Física y Observatorio Astronómico  
Universidad Nacional de Córdoba

En el cálculo de la posición: ascensión recta y declinación de un asteroide o de un cometa obtenidas de una imagen fotográfica, intervienen muchas fuentes de error, como ser: el valor de la escala de la placa que puede no ser muy bien conocida, la incorrecta orientación de la placa en el instrumento de medida y el método de reducción utilizado, que si no tiene en cuenta todas las fuentes de error que se introducen, lleva solamente a resultados aproximados.

El método de las dependencias permite alcanzar un grado de precisión considerable con muy poco trabajo y puede dar en un par de minutos las posiciones aproximadas de un objeto desconocido. Su posición precisa llevará un poco más de tiempo.

El método consiste en hacer uso de un punto teórico, imaginario, que llamaremos "centro de dependencias" el cual debe coincidir lo más exactamente posible con el objeto desconocido. Cuando exista una coincidencia total entre el centro de dependencias y el objeto desconocido habremos conseguido que el valor de la escala del instrumento con el cual fue medida la placa y la orientación dada a ésta al hacer las mediciones, puedan ser cualesquiera.

En la práctica la coincidencia no es exacta, pero el pequeño residuo entre el centro de las dependencias y el asteroide o cometa será tan pequeño que no modificará los resultados.

El método de las dependencias tiene la ventaja que usa como mínimo tres estrellas y que el efecto de cada una de ellas sobre el resultado es claramente visible en los cálculos.

### TEORIA DEL METODO

Tres estrellas de referencia son necesarias como mínimo; más estrellas pueden ser usadas con muy pequeñas modificaciones en los cálculos, pero la precisión en los resultados no es muy apreciable.

El método consiste en utilizar unos valores  $D_i$  asignados a cada una de las estrellas. A dichos valores se les denomina dependencia de la estrella.

Consideremos primeramente el caso en que se tomen tres estrellas.

Las tres estrellas elegidas como referencia fija de la placa formarán un triángulo que deja

Se mide la placa respecto de un sistema ortogonal de dos coordenadas con toda la precisión posible dentro del sistema de medida de que se disponga (papel milimetrado, comparador, etc.), obteniéndose respectivamente para cada estrella los valores:

Estrella 1	:	$X_1$	;	$Y_1$
Estrella 2	:	$X_2$	;	$Y_2$
Estrella 3	:	$X_3$	;	$Y_3$
Objeto desconocido	:	$X_a$	;	$Y_a$

Ahora se impone la condición de que la suma de las dependencias correspondientes a las tres estrellas sea la unidad

$$1) \quad D_1 + D_2 + D_3 = 1$$

y que

$$2) \quad D_1 x_1 + D_2 x_2 + D_3 x_3 = x_A$$

$$3) \quad D_1 y_1 + D_2 y_2 + D_3 y_3 = y_A$$

Las ecuaciones 2) y 3) pueden ser modificadas por 1) así:

$$4) \quad \begin{cases} D_1 x_1 + D_2 x_2 + D_3 x_3 = x_A (D_1 + D_2 + D_3) \\ D_1 y_1 + D_2 y_2 + D_3 y_3 = y_A (D_1 + D_2 + D_3) \end{cases} \quad y$$

$$D_1 x_1 - D_1 x_A + D_2 x_2 - D_2 x_A + D_3 x_3 - D_3 x_A = 0$$

$$D_1 y_1 - D_1 y_A + D_2 y_2 - D_2 y_A + D_3 y_3 - D_3 y_A = 0$$

en consecuencia se tendrá un sistema de 3 ecuaciones con 3 incógnitas:

$$5) \quad \begin{cases} D_1 + D_2 + D_3 = 1 \\ D_1 (x_1 - x_A) + D_2 (x_2 - x_A) + D_3 (x_3 - x_A) = 0 \\ D_1 (y_1 - y_A) + D_2 (y_2 - y_A) + D_3 (y_3 - y_A) = 0 \end{cases}$$

De donde se pueden deducir los valores de  $D_1$ ,  $D_2$  y  $D_3$ . Para los fines calculísticos es conveniente hacer:

$$x_1 - x_A = x'_1$$

$$x_2 - x_A = x'_2$$

$$x_3 - x_A = x'_3$$

$$y_1 - y_A = y'_1$$

$$y_2 - y_A = y'_2$$

$$y_3 - y_A = y'_3$$

En consecuencia la ecuación 5) se escribirá:

$$D_1 + D_2 + D_3 = 1$$

$$D_1 x'_1 + D_2 x'_2 + D_3 x'_3 = 0$$

$$D_1 y'_1 + D_2 y'_2 + D_3 y'_3 = 0$$

Resolviendo por determinantes:

$$D_1 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & x'_2 & x'_3 \\ 0 & y'_2 & y'_3 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x'_1 & x'_2 & x'_3 \\ y'_1 & y'_2 & y'_3 \end{vmatrix}} = \frac{(x'_2 y'_3 - y'_2 x'_3)}{N} = \frac{N_1}{N}$$

$$D_2 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1 & 0 & x_3 \\ y_1 & 0 & y_3 \end{vmatrix}}{N} = \frac{(y_1 x_3 - x_1 y_3)}{N} = \frac{N_2}{N}$$

$$D_3 = \frac{\begin{vmatrix} 1 & 1 & 1 \\ x_1 & x_2 & 0 \\ y_1 & y_2 & 0 \end{vmatrix}}{N} = \frac{(x_1 y_2 - y_1 x_2)}{N} = \frac{N_3}{N}$$

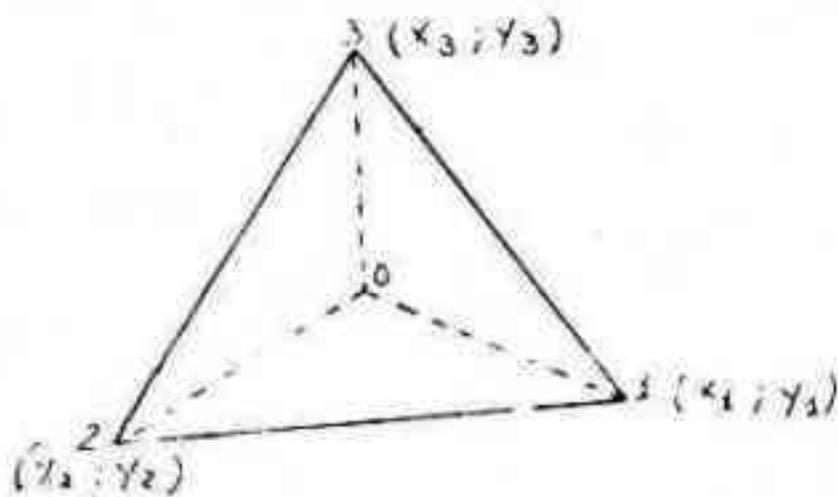
cuyo denominador común es:

$$N = (x_2 y_3 - y_2 x_3) + (x_1 y_2 - y_1 x_2) + (y_1 x_3 - y_3 x_1)$$

Puede verse fácilmente que:

$$N = N_1 + N_2 + N_3$$

De la geometría analítica se deduce que el valor de  $N$  es el doble del área del triángulo cuyos vértices corresponden a las 3 estrellas, expresado en unidades de la escala utilizada para medir coordenadas  $x$  e  $y$ .



Mientras  $N_1$ ,  $N_2$  y  $N_3$  son respectivamente el doble de la superficie del triángulo formado por: las estrellas 2, 3 y el objeto, las estrellas 3, 1 y el objeto y las estrellas 1, 2 y el objeto en el mismo sistema de unidades en que está dado el valor de  $M$ .

Por lo tanto, las dependencias son relaciones entre las superficies y por consiguiente carecen de dimensión

Como las superficies no dependen de la orientación de la placa respecto de los ejes ortogonales, al efectuarse las medidas, resulta que la ventaja del método consiste en eliminar la influencia de la escala utilizada y admitir cualquier orientación de la placa en la medición.

Si se desea utilizar más de tres estrellas, las fórmulas para la determinación de los valores de las dependencias se hacen más laboriosas y la precisión que se alcanza por este hecho en los resultados no es mucho mayor.

En este caso, el procedimiento es el siguiente:

Llamando  $x_i$  y  $y_i$  a las lecturas respectivas de las  $n$  estrellas medidas con el comparador, y  $x_A$  e  $y_A$  a las del objeto desconocido, Donde  $i = 1, 2, 3, \dots, n$

$$\text{Si } \bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum y_i}{n}$$

$$\text{y } x_i - \bar{x} = X_i \quad y_i - \bar{y} = Y_i$$

donde  $X_i$  e  $Y_i$  representan las lecturas respectivas de las estrellas, como si las medidas se hubiesen hecho a partir del baricentro de las estrellas consideradas;  $X_A$  e  $Y_A$  serán ahora las lecturas del objeto desconocido. En consecuencia se cumplirá:

$$\sum X_i = \sum Y_i = 0$$

y el sistema

$$P [X_i^2] + Q [X_i Y_i] = X_A$$

$$P [X_i Y_i] + Q [Y_i^2] = Y_A$$

$$R = \frac{1}{n}$$

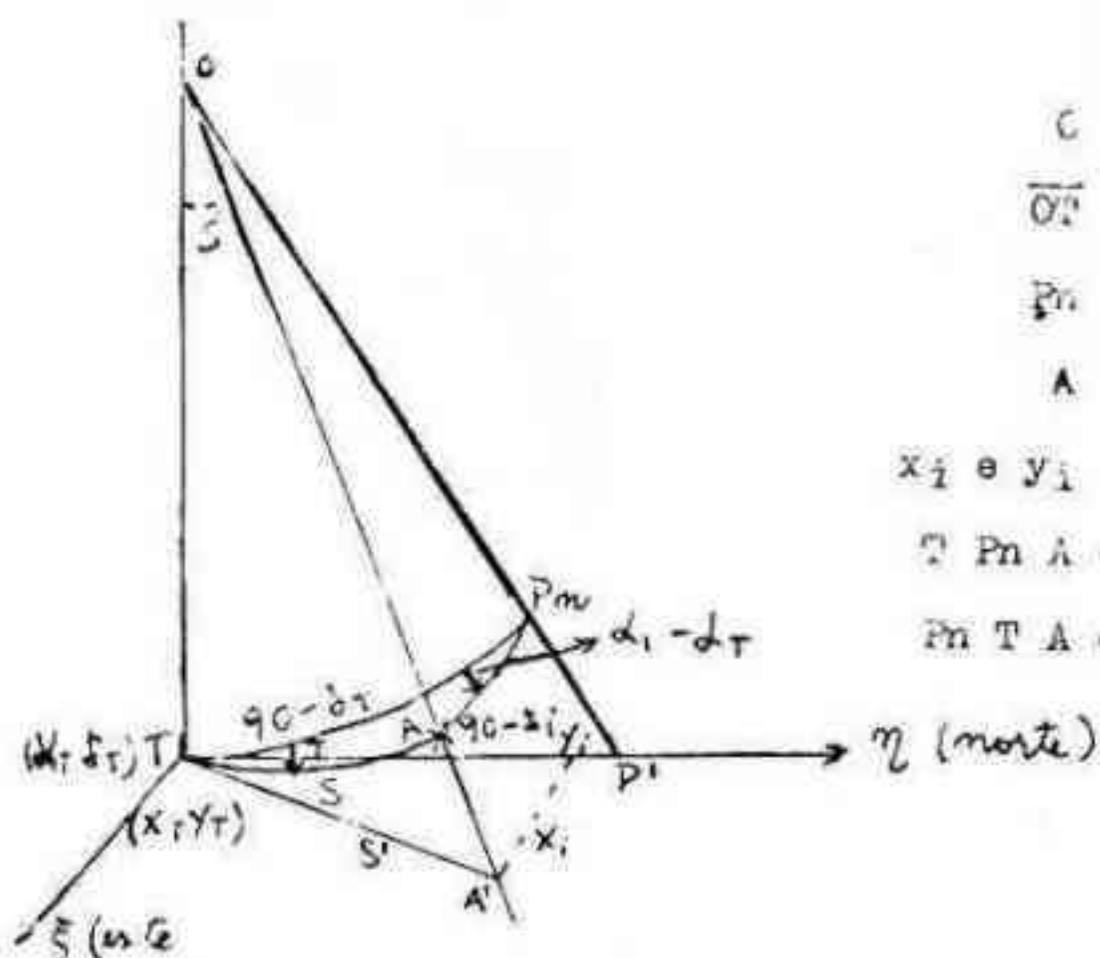
nos dará los valores de las incógnitas P, Q, R. La dependencia para cada una de las estrellas estará dada por:

$$D_i = P X_i + Q Y_i + R \quad i = 1, 2, 3, \dots, n$$

Como contralor del cálculo será:

$$\sum D_i = 1 \quad ; \quad \sum D_i X_i = X_A \quad ; \quad \sum D_i Y_i = Y_A$$

### APLICACION DE LAS DEPENDENCIAS A COORDENADAS ECUATORIALES



C Segundo punto nodal del Objetivo

$\overline{O'P}$  Perpendicular a la placa

Pn Polo norte

A Estrella de coordenadas  $(\alpha_i, \delta_i)$

$x_i$  e  $y_i$  Coordenadas medidas sobre la placa

$\angle Pn A = \alpha_i - \alpha_T$

$\angle Pn T A = T$

de la figura resulta que:

$$\tan S = \frac{S'}{f}$$

$$S' = f \tan S$$

Las coordenadas ortogonales de la estrella A, medidas sobre la placa, son:  $X_i$  e  $Y_i$ , mientras que las del punto T son desconocidas y las designamos con  $x_T$ ,  $y_T$  entre ambas coordenadas existen las siguientes relaciones:

$$6) \begin{cases} x_i - x_T = S' \sin T = f \tan S \sin T \\ y_i - y_T = S' \cos T = f \tan S \cos T \end{cases}$$

En el triángulo esférico T A Pn es:

$$7) \begin{cases} \sin S \sin T = \sin (\alpha_i - \alpha_T) \cos \delta_i \\ \sin S \cos T = \sin \delta_i \cos \delta_T - \cos \delta_i \sin \delta_T \cos (\alpha_i - \alpha_T) \end{cases}$$

Dividiendo la primera por la tercera y la segunda por la tercera se tienen:

$$8) \tan S \sin T = \frac{\cos \delta_i \sin (\alpha_i - \alpha_T)}{\sin \delta_i \sin \delta_T + \cos \delta_i \cos \delta_T \cos (\alpha_i - \alpha_T)}$$

$$9) \tan S \cos T = \frac{\sin \delta_i \cos \delta_T - \cos \delta_i \sin \delta_T \cos (\alpha_i - \alpha_T)}{\sin \delta_i \sin \delta_T + \cos \delta_i \cos \delta_T \cos (\alpha_i - \alpha_T)}$$

Con la restricción de que la placa abarca una pequeña zona del cielo de un par de grados como máximo, se puede poner que

$$\delta_i - \delta_T = \Delta \delta \quad \therefore \quad \delta_i = \delta_T + \Delta \delta$$

por lo tanto

$$\cos \delta_i = \cos (\delta_T + \Delta \delta) = \cos \delta_T \cos \Delta \delta - \sin \delta_T \sin \Delta \delta$$

$$\sin \delta_i = \sin (\delta_T + \Delta \delta) = \sin \delta_T \cos \Delta \delta + \cos \delta_T \sin \Delta \delta$$

y por ser:  $\Delta \delta$  pequeño será muy aproximadamente:

$$\cos \Delta \delta \approx 1 - \dots$$

$$\sin \Delta \delta \approx \Delta \delta - \dots$$

como consecuencia:

$$\cos \delta_i = \cos \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T$$

$$\sin \delta_i = \sin \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \cos \delta_T$$

por las mismas consideraciones anteriores  $(\alpha_i - \alpha_T)$  también será pequeño, luego:

$$\cos (\alpha_i - \alpha_T) = 1 - \frac{(\alpha_i - \alpha_T)^2}{2!} + \dots$$

$$\sin (\alpha_i - \alpha_T) = (\alpha_i - \alpha_T) - \dots$$

reemplazando estos valores en 8) y 9) será:

$$\tan S \sin T = \frac{[\cos \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] (\alpha_i - \alpha_T)}{[\sin \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \cos \delta_T] \sin \delta_T + [\cos \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] \cos \delta_T \left[1 - \frac{(\alpha_i - \alpha_T)^2}{2}\right]}$$

$$\tan S \cos T = \frac{[\sin \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \cos \delta_T] \cos \delta_T - [\cos \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] \sin \delta_T \left[1 - \frac{(\alpha_i - \alpha_T)^2}{2}\right]}{[\sin \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \cos \delta_T] \sin \delta_T + [\cos \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] \cos \delta_T \left[1 - \frac{(\alpha_i - \alpha_T)^2}{2}\right]}$$

efectuando las operaciones y dejando de lado términos de 3er. orden

$$\tan S \sin T = \frac{(\alpha_i - \alpha_T) \cos \delta_T - (\alpha_i - \alpha_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T}{\sin^2 \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T \cos \delta_T + [\cos^2 \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T \cos \delta_T] \left[1 - \frac{(\alpha_i - \alpha_T)^2}{2}\right]}$$

$$\tan S \cos T = \frac{\sin \delta_T \cos \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \cos^2 \delta_T - [\cos \delta_T \sin \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] \left[1 - \frac{(\alpha_i - \alpha_T)^2}{2}\right]}{\sin^2 \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T \cos \delta_T + \cos^2 \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T \cos \delta_T - (\alpha_i - \alpha_T)^2 \cos^2 \delta_T}$$

y simplificando

$$\tan S \sin T = \frac{(\alpha_i - \alpha_T) \cos \delta_T - (\alpha_i - \alpha_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T}{1 - \frac{(\alpha_i - \alpha_T)^2}{2} \cos^2 \delta_T + \dots}$$

$$\tan S \cos T = \frac{\sin \delta_T \cos \delta_T + (\delta_i - \delta_T) \cos^2 \delta_T - [\cos \delta_T \sin \delta_T - (\delta_i - \delta_T) \sin^2 \delta_T - \frac{(d_i - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T]}{1 - \frac{(d_i - d_T)^2}{2} \cos^2 \delta_T}$$

Efectuando ahora las operaciones indicadas y dejando de lado los términos de 3er. orden:

$$\tan S \sin T = (d_i - d_T) \cos \delta_T - (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T$$

$$\tan S \cos T = (\delta_i - \delta_T) + (d_i - d_T)^2 \cos \delta_T \sin \delta_T$$

y reemplazando estos valores en la 6) será:

$$11) \begin{cases} x_i - x_T = f [(d_i - d_T) \cos \delta_T - (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] \\ y_i - y_T = f [(\delta_i - \delta_T) + \frac{(d_i - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] \end{cases}$$

Recordando que los valores medidos son:

$x_1$  e  $y_1$  para la estrella 1 con coordenadas  $d_1$ ;  $\delta_1$

$x_2$  e  $y_2$  para la estrella 2 con coordenadas  $d_2$ ;  $\delta_2$

$x_3$  e  $y_3$  para la estrella 3 con coordenadas  $d_3$ ;  $\delta_3$

$x_A$  e  $y_A$  para el objeto desconocido

y

$x_T$  e  $y_T$  a los valores teóricos del punto de tangencia: T; imposible de medir que tiene por coordenadas  $d_T$  y  $\delta_T$  desconocidas.

reemplazando en la 11) se tendrán las siguientes ecuaciones:

$$12) \begin{cases} x_1 - x_T = f [(d_1 - d_T) \cos \delta_T - (d_1 - d_T) (\delta_1 - \delta_T) \sin \delta_T] \\ x_2 - x_T = f [(d_2 - d_T) \cos \delta_T - (d_2 - d_T) (\delta_2 - \delta_T) \sin \delta_T] \\ x_3 - x_T = f [(d_3 - d_T) \cos \delta_T - (d_3 - d_T) (\delta_3 - \delta_T) \sin \delta_T] \\ x_A - x_T = f [(d_A - d_T) \cos \delta_T - (d_A - d_T) (\delta_A - \delta_T) \sin \delta_T] \end{cases}$$

$$13) \begin{cases} y_1 - y_T = f [(\delta_1 - \delta_T) + \frac{(d_1 - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] \\ y_2 - y_T = f [(\delta_2 - \delta_T) + \frac{(d_2 - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] \\ y_3 - y_T = f [(\delta_3 - \delta_T) + \frac{(d_3 - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] \\ y_A - y_T = f [(\delta_A - \delta_T) + \frac{(d_A - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] \end{cases}$$

Multiplicando las tres primeras ecuaciones de 12) y de 13) por su respectiva dependencia  $D_1, D_2$  y  $D_3$  y sumando, se tendrá que:

$$D_1 x_1 + D_2 x_2 + D_3 x_3 = x_T (D_1 + D_2 + D_3) + f [\sum D_i (d_i - d_T) \cos \delta_T - \sum D_i (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T]$$

$$D_1 y_1 + D_2 y_2 + D_3 y_3 = y_T (D_1 + D_2 + D_3) + f [\sum D_i (\delta_i - \delta_T) + \sum D_i \frac{(d_i - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T]$$

donde  $i = 1, 2, 3$

y como  $D_1 + D_2 + D_3 = 1$  resulta:

$$14) \begin{cases} D_1 x_1 + D_2 x_2 + D_3 x_3 = x_T + f [\sum D_i (d_i - d_T) \cos \delta_T - \sum D_i (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] \\ D_1 y_1 + D_2 y_2 + D_3 y_3 = y_T + f [\sum D_i (\delta_i - \delta_T) + \sum D_i \frac{(d_i - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] \end{cases}$$

el primer miembro de las ecuaciones 14) es respectivamente por las relaciones 2) y 3):  $x_A$  e  $y_A$  luego:

$$15) \begin{cases} x_A - x_T = f [\sum D_i (d_i - d_T) \cos \delta_T - \sum D_i (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T] \\ y_A - y_T = f [\sum D_i (\delta_i - \delta_T) + \sum D_i \frac{(d_i - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] \end{cases}$$

Como los primeros miembros son iguales a la última de las ecuaciones 12) y 13) respectivamente, resulta:

$$f[(\alpha_A - \alpha_T) \cos \delta_T - (\alpha_A - \alpha_T)(\delta_A - \delta_T) \sin \delta_T] = f[\sum D_i (d_i - d_T) \cos \delta_T - \sum D_i (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) \sin \delta_T]$$

y

$$f[(\delta_A - \delta_T) + \frac{(\alpha_A - \alpha_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T] = f[\sum D_i (\delta_i - \delta_T) + \sum D_i \frac{(d_i - d_T)^2}{2} \cos \delta_T \sin \delta_T]$$

Vemos que se eliminan tanto  $f$  como  $x_T$  e  $y_T$ , es decir tres elementos desconocidos, resultando:

$$\begin{aligned} (\alpha_A - \alpha_T) \cos \delta_T &= [\sum D_i (d_i - d_T)] \cos \delta_T - [\sum D_i (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) - (\alpha_A - \alpha_T)(\delta_A - \delta_T)] \sin \delta_T \\ (\delta_A - \delta_T) &= \sum D_i (\delta_i - \delta_T) + \frac{1}{2} [\sum D_i (d_i - d_T)^2 - (\alpha_A - \alpha_T)^2] \cos \delta_T \sin \delta_T \end{aligned}$$

y finalmente

$$16) \begin{cases} \alpha_A - \alpha_T = \sum D_i (d_i - d_T) - [\sum D_i (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) - (\alpha_A - \alpha_T)(\delta_A - \delta_T)] \tan \delta_T \\ \delta_A - \delta_T = \sum D_i (\delta_i - \delta_T) + \frac{1}{4} [\sum D_i (d_i - d_T)^2 - (\alpha_A - \alpha_T)^2] \sin 2\delta_T \end{cases}$$

donde para  $\alpha_T$  y  $\delta_T$  se toman valores aproximados que corresponden al punto donde el eje óptico del objetivo es perpendicular a la placa, y que debe encontrarse en una posición muy próxima al centro geométrico de la placa.

Para la aplicación práctica se necesita dimensionar la fórmula 16); el segundo término del segundo miembro de  $\alpha_A - \alpha_T$  tiene: segundos de tiempo en  $(\alpha_T - \alpha_T)$  y segundos de arco en  $(\delta_A - \delta_T)$  y como su resultado debe estar expresado en segundos de tiempo deberá ser multiplicado por  $\sin 1''$ ; en cambio, el segundo término del segundo miembro de  $(\delta_A - \delta_T)$  con tiene segundos de tiempo al cuadrado, los cuales necesitamos expresarlos en segundos de arco, multiplicándolo por  $15^2$  y por  $\sin 1''$  por lo tanto la fórmula 16) para su aplicación numérica quedará expresada así:

$$17) \begin{cases} \alpha_A - \alpha_T = \sum D_i (d_i - d_T) - [\sum D_i (d_i - d_T) (\delta_i - \delta_T) - (\alpha_A - \alpha_T)(\delta_A - \delta_T)] \sin 1'' \tan \delta_T \\ \delta_A - \delta_T = \sum D_i (\delta_i - \delta_T) + \frac{1}{4} \cdot 225 \sin 1'' [\sum D_i (d_i - d_T)^2 - (\alpha_A - \alpha_T)^2] \sin 2\delta_T \end{cases}$$

Las expresiones

$$\sin 1'' \tan \delta_T \quad ; \quad \frac{225}{4} \sin 1'' \sin 2\delta_T$$

pueden ser puestas en tabla crítica.

Las cantidades  $\alpha_A - \alpha_T$  y  $\delta_A - \delta_T$  que intervienen en el segundo término del segundo miembro pueden ser obtenidas de una primera aproximación en donde no se tienen en cuenta los términos cuadráticos.

1<sup>ra</sup> aproximación

$$(\alpha_A - \alpha_T)' = \sum D_i (\alpha_i - \alpha_T)$$

$$(\delta_A - \delta_T)' = \sum D_i (\delta_i - \delta_T)$$

2<sup>da</sup> aproximación

$$\alpha_A - \alpha_T = \sum D_i (\alpha_i - \alpha_T) - F [\sum D_i (\alpha_i - \alpha_T) (\delta_i - \delta_T) - (\alpha_A - \alpha_T)' (\delta_A - \delta_T)']$$

$$\delta_A - \delta_T = \sum D_i (\delta_i - \delta_T) + G [\sum D_i (\alpha_i - \alpha_T)^2 - (\alpha_A - \alpha_T)'^2]$$

donde

$$F = 0.000\ 004\ 8481 \tan \delta_T$$

$$G = 0.000\ 272\ 71 \sin 2\delta_T$$

Se dan a continuación las tablas críticas que contienen los valores  $F \times 1000$  y  $G \times 100$  y un ejemplo numérico de la reducción de una placa tomando 3 estrellas como referencia para obtener la posición  $\alpha_A$  y  $\delta_A$  de una estrella catalogada, la 7930 del Tomo 12 del catálogo de Yale.

### Bibliografía

- Schlesinger F., "Astrophysical Journal" Vol. 33 (1911)  
 Schlesinger F., "Astronomical Journal" Vol. 37 (1926)  
 L.J. Comrie, "Journal of the British Astronomical Association", Vol. 39 (1929)  
 Plummer H.C., "Monthly Notices" Vol. 92 (1932)  
 Sersic J., "Revista Astronómica" Vol. 18 (1956)  
 Smart, W.M., "Spherical Astronomy Cambridge (1960)  
 Van de Kamp P., "Principles of Astrometry (1967)

Placa N° A 2204 tomada el día 27 de noviembre de 1965 Hora 0h11m05s T.U.  
Para determinar la posición de la estrella 7930 del mismo catálogo.

Estrella							
Tomo	N°	$x_i$	$y_i$	$x - x_A$	$y - y_A$	$h_i$	$D_i$
12-1	7919	-50.9840	30.2865	-57.2465	24.6840	3729.78941	0.339555
Yale	7924	-22.9975	-45.1525	-29.2600	-50.7550	3626.75989	0.330175
	7947	94.3700	30.9650	88.1075	25.3625	3627.79995	0.330270
						<u>10984.34925</u>	
		$x_A$	$y_A$				
	7930	6.2625	5.6025				
	Contralor:	6.2625	5.6025				

$$\alpha_T = 21^h 00^m 45^s$$

$$\delta_T = -13^\circ 57' 00''$$

	$\alpha_i (1950)$	$\alpha_i - \alpha_T$	$D_i (\alpha_i - \alpha_T)$	$D_i (\alpha_i - \alpha_T)(\delta_i - \delta_T)$
20	58 56.605	-108.395	-36.8061	-32482.49
20	59 52.611	-52.389	-17.2975	23604.69
20	57 52.774	187.774	62.0161	54643.01
		$\Sigma D_i (\alpha_i - \alpha_T) = 7.9125$		$45765.21 = \Sigma D_i (\alpha_i - \alpha_T)(\delta_i - \delta_T)$
				$1108.58 = (\alpha_A - \alpha_T)(\delta_A - \delta_T)$
				$K = 44656.63$

$$(\alpha_A - \alpha_T) = 789125$$

	$\delta_i (1950)$	$\delta_i - \delta_T$	$D_i (\delta_i - \delta_T)$	$D_i (\alpha_i - \alpha_T)^2$
-13	42 17.47	882.53	299.6675	3989.60
-14	19 44.63	-1364.63	-450.5667	906.20
-13	42 18.89	881.11	291.0042	11645.01
		$\Sigma D_i (\delta_i - \delta_T) = 140.1050$		$16540.81 = \Sigma D_i (\alpha_i - \alpha_T)^2$
				$62.61 = (\delta_A - \delta_T)^2$
				$J = 16478.21$

$$(\delta_A - \delta_T) = +2 \quad 20.105$$

$$F = -0.0000012$$

$$G = -0.00013$$

$$\begin{aligned} &= 21 \quad 00 \quad 45.0000 \\ \Sigma D_i (\alpha_i - \alpha_T) & \quad 7.9125 \\ K \cdot F &= \quad \quad 0.0536 \\ \Delta \alpha'' &= \frac{7.9125}{45.0000} = 0.1758 \\ \text{yale } \Delta \alpha'' &= \frac{7.9125}{52.930} = 0.1495 \\ \Delta \alpha'' &= 0.1758 - 0.1495 = 0.0263 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \delta_T &= -13^\circ \quad 57' \quad 00'' \quad 000 \\ \Sigma D_i (\delta_i - \delta_T) & \quad +2 \quad 20.105 \\ G \cdot J &= \quad \quad -2.142 \\ \Delta \delta'' &= \frac{20.105}{42.04} = 0.4782 \\ \text{yale } \Delta \delta'' &= \frac{20.105}{41.97} = 0.4790 \\ \Delta \delta'' &= 0.4782 - 0.4790 = -0.0008 \end{aligned}$$

Posición de la estrella 7930 a la fecha de la observación y equinoccio 1950 según el catálogo es:

$$\begin{aligned} \text{A.R.} & \quad 21^h \quad 00^m \quad 52.930 \\ \text{Dec.} & \quad -13^\circ \quad 54' \quad 41.97'' \end{aligned}$$

Para un contralor aritmético, resultante de la posible posición equivocada de una estrella, hecha que no puede ser detectado en los cálculos. La mejor protección contra tal circunstancia es medir más estrellas que las necesarias y hacer dos cálculos independientes.

Tabla de F. 1.000: F tiene el signo de δ

δ	F	δ	F	δ	F	δ	F	δ	F
0° 0'	0.0000	25° 51'	0.0024	44° 24'	0.0048	55° 51'	0.0072	63° 05'	0.0096
0 35	.0001	26 48	.0025	45 00	.0049	56 13	.0073	63 19	.0097
1 46	.0002	27 44	.0026	45 35	.0050	56 39	.0074	63 33	.0098
2 57	.0003	28 39	.0027	46 10	.0051	56 56	.0075	63 47	.0099
4 07	.0004	29 33	.0028	46 43	.0052	57 17	.0076	64 01	.0100
5 01	.0005	30 26	.0029	47 16	.0053	57 38	.0077	64 14	.0101
6 02	.0006	31 17	.0030	47 49	.0054	57 58	.0078	64 28	.0102
7 38	.0007	32 10	.0031	48 20	.0055	58 18	.0079	64 41	.0103
8 47	.0008	33 00	.0032	48 51	.0056	58 37	.0080	64 54	.0104
9 56	.0009	33 50	.0033	49 22	.0057	58 56	.0081	65 06	.0105
11 05	.0010	34 39	.0034	49 51	.0058	59 15	.0082	65 19	.0106
12 13	.0011	35 26	.0035	50 21	.0059	59 33	.0083	65 31	.0107
13 20	.0012	36 12	.0036	50 49	.0060	59 51	.0084	65 43	.0108
14 27	.0013	36 48	.0037	51 17	.0061	60 09	.0085	65 55	.0109
15 33	.0014	37 43	.0038	51 45	.0062	60 26	.0086	66 07	.0110
16 39	.0015	38 27	.0039	52 11	.0063	60 43	.0087	66 18	.0111
17 43	.0016	39 10	.0040	52 38	.0064	61 00	.0088	66 30	
18 47	.0017	39 52	.0041	53 04	.0065	61 17	.0089		
19 50	.0018	40 33	.0042	53 29	.0066	61 33	.0090		
20 53	.0019	41 14	.0043	53 54	.0067	61 49	.0091		
21 54	.0020	41 54	.0044	54 18	.0068	62 04	.0092		
22 55	.0021	42 32	.0045	54 42	.0069	62 20	.0093		
23 54	.0022	43 10	.0046	55 06	.0070	62 35	.0094		
24 53	.0023	43 48	.0047	55 29	.0071	62 50	.0095		
25 51		44 24		55 51		63 05			

Tabla de 100xG

G tiene el mismo signo de  $\delta$

$\delta$	G	$\delta$
0° 00'	0.000	90° 00'
0 31	.001	89 29
1 34	.002	88 26
2 37	.003	87 23
3 41	.004	86 19
4 44	.005	85 16
5 49	.006	84 11
6 53	.007	83 07
7 58	.008	82 02
9 04	.009	80 56
10 11	.010	79 49
11 19	.011	78 41
12 28	.012	77 32
13 38	0.013	76 23
14 50		75 10

$\delta$	G	$\delta$
14° 50'	0.014	75° 10'
16 03	.015	73 57
17 19	.016	72 41
18 36	.017	71 24
19 57	.018	70 03
21 21	.019	68 39
22 49	.020	67 11
24 22	.021	65 38
26 01	.022	63 59
27 47	.023	62 13
29 45	.024	60 15
31 58	.025	58 02
34 37	.026	55 23
38 10	0.027	51 50
45 00		45 00

En ambas tablas, tanto para F como para G, en caso crítico, ascender.

Por: Luis A. Milone  
Observatorio Astronómico e I.M.A.F.  
Universidad Nacional de Córdoba

## NOCIONES HISTORICAS

### I.- Etapas de la fotometría astronómica - Introducción

Siguiéndolo a Weaver (1946), podemos dividir la fotometría estelar en cuatro etapas, cada una con características propias, aunque frecuentemente con partes superpuestas entre sí en el tiempo.

La primera se caracteriza por el hecho de que los brillos<sup>(1)</sup> estelares eran determinados sin ayuda de instrumento alguno específico para ese fin (fotómetro). Además, no existía una definición precisa de la escala de magnitudes lo cual hacía que cada observador definiera su propia escala de brillos; si bien ésta coincidía en líneas generales con las de sus predecesores, incluía también sus propias peculiaridades. Desde el año 1609 en adelante, se emplea el telescopio para determinar la luminosidad de aquellas estrellas no visibles a ojo desnudo. Esta etapa se extiende, en sus principales lineamientos, desde unos 150 años antes de Cristo (con Hiparco de Nicea) hasta comienzos del presente siglo.

El segundo período se caracteriza por la introducción de distintos tipos de fotómetros, lo cual permite no ya hacer estimaciones, sino medir con mayor o menor exactitud los brillos relativos de las estrellas. De todos modos, el ojo continúa jugando un papel funda-

mental, ya que los fotómetros que se emplean son visuales. Un acontecimiento muy importante de esta etapa lo constituye la definición precisa de la escala de magnitudes (Ley de Pogson), y su posterior general aceptación. Durante esta etapa y la anterior, con frecuencia se manifestó preocupación e interés, de parte de los observadores, por los colores de las estrellas.

El tercer período se desarrolla con la aplicación de la fotografía a la fotometría. Tiene sus comienzos en los primeros años del siglo XX, y aún en nuestros días se aplican extensivamente sus técnicas. Las magnitudes estelares llegan a determinarse con mucha exactitud, y los colores están sujetos a definiciones precisas y también se los evalúa con una exactitud muy grande.

El cuarto y último período se caracteriza por la aplicación de los receptores integrales y selectivos a la fotometría estelar.

Desde aproximadamente el año 1915 en adelante se vienen utilizando termocuplas, radiómetros, células fotoeléctricas y fotomultiplicadoras, así como también fotoconductores, para medir la radiación que nos llega de las estrellas. Se han alcanzado resultados extraordinariamente exactos; podemos decir que en nuestros días este período está en pleno desarrollo.

(1) A la palabra "brillo" la utilizaremos como sinónimo de "iluminación", o sea, energía luminosa recibida por segundo, en la unidad de área (la superficie receptora debe ser normal a la dirección de propagación de la luz). Así, dos estrellas que provoquen igual iluminación tendrán el mismo brillo.

## 2.- Primer período

### 2.1.- Los documentos más antiguos conocidos

Es algo comunmente conocido que el origen de los conocimientos astronómicos del hombre se pierde en la noche de la historia; lo que no resulta tan conocido es el hecho de que aún en épocas muy remotas el hombre tuviera una cierta preocupación por el brillo de las estrellas y que lo dejara documentado. En algunas partes de Escandinavia, y especialmente en el condado de Bohuslän en Suecia, se encuentran grabados sobre piedra que pertenecen a la edad del bronce. Estos grabados suelen representar animales y hombres; mezcladas con las figuras hay algunas cavidades, las que en varios casos representan, en su conjunto, conocidas constelaciones del cielo boreal. Por lo general, estos huecos tienen dimensiones arbitrarias; sin embargo, se observan algunos ejemplos en los cuales es evidente que con su distinto tamaño se ha querido representar la diferencia de brillo de algunos pares de estrellas. Tal es el caso de un amuleto, cuya antigüedad se remonta a la edad de piedra, en el cual se representan las estrellas de la Osa Mayor y del Boyero y en el que se distingue claramente el distinto tamaño de Mizar y Alcor. Este documento remonta el "quehacer fotométrico" del hombre, a unos 15.000 años antes de Cristo.

### 2.2.- Hiparco y Ptolomeo. El "Almagesto".

Según las versiones que han llegado hasta la actualidad, el catálogo estelar más antiguo que existió, y que merece ese nombre, fue publicado por Hiparco hacia el año 129 a.C. Contena las posiciones en la esfera celeste y los brillos relativos de 1.020 estrellas visibles desde Rodas. Hiparco clasificó las estrellas según sus brillos en: las de luz brillante (lo que actualmente entendemos de la. a 3a. magnitud); las de segundo grado (4a. a 5a. magnitud) y las débiles (las de 6a. magnitud). Por desgracia, el catálogo de Hiparco se perdió, de modo que lo conocido a su respecto lo sabemos en forma mas bien indirecta.

El catálogo de Claudio Ptolomeo, está incluido en los libros 7º y 8º de su obra titulada "Almagesto", la cual es una síntesis de los conocimientos matemáticos y astronómicos de la antigüedad<sup>(2)</sup>.

Mucho se ha dicho sobre la relación que existe entre el "Almagesto" y el catálogo perdido de Hiparco. Para muchos, Ptolomeo es, en el mejor de los casos, un recopilador, o aún peor, un plagiaro. Esta idea se ha basado en el hecho de que las longitudes dadas por Ptolomeo a las estrellas en su obra están equivocadas por defecto en aproximadamente un grado; teniendo en cuenta que él suponía la constante de precesión igual a 36" en vez de 50", y además, que la época de su catálogo es el año 137 de nuestra era en tanto que la de la obra de Hiparco es 129 a.C., si Ptolomeo se limitó a trasladar de una época a otra las posiciones de Hiparco, éstas deberían estar afectadas por un error de  $14" \times 266 = 3724"$  o sea, aproximadamente un grado. Sin embargo, hoy en día la situación parece apreciarse bajo otra perspectiva. En efecto: F. Boll ha investigado un documento griego que contiene una lista de constelaciones atribuidas a Hiparco; de aquí parece desprenderse que su catálogo incluía solamente 850 estrellas. El de Ptolomeo registra 1025 y, por lo tanto, él debe haber observado al menos las 175 estrellas adicionales.

H. Vogt (1925) ha realizado un aporte más en favor de Ptolomeo. Analizando las dos únicas contribuciones de Hiparco que se han conservado hasta nuestros días, sus comentarios relativos a las notas sobre fenómenos celestes de Aratos y Eudoxos y su lista de 24 estrellas de tiempo, pudo deducir las posiciones obtenidas por Hiparco para 122 estrellas. Comparando con estas posiciones las consignadas por Ptolomeo, se presentan diferencias, lo cual significa que este último no se limitó a copiar los valores de Hiparco.

Además, Ptolomeo es quien por primera vez divide los brillos estelares en 6 magnitudes, introduciendo también algunos signos adicionales para distinguir cuándo una estre

(2) El "Almagesto" ha sido recopilado y traducido en época reciente: C.H.F. Peters y L.B. Knobel, "Ptolomaios's catalogue of stars. A revision of the "Almagest". Carnegie Institution of Washington, Publication No. 264, Washington, 1915.

lla es un poco más brillante, o un poco más débil, que una magnitud entera.

Por todo lo dicho parece alcanzarse la conclusión de que Ptolomeo fue uno de los grandes astrónomos de todos los tiempos.

### 2.3.- La era pre-Herscheliana

En el siglo X de nuestra era, el astrónomo persa Al Sûfi llevó a cabo una cuidadosa revisión del catálogo estelar de Ptolomeo. Poniendo especial cuidado en la estimación de brillos, prácticamente reobservó todas las estrellas contenidas en "Almagesto", incluyendo también otras. Como resultado, su catálogo incluye 1151 estrellas; una copia de este trabajo se conserva en la Biblioteca Real de Copenhague y otra en la ciudad de Leningrado<sup>(3)</sup>.

Como consecuencia de la aparición de la Nova  $\beta$  Cassiopeiae, Tycho Brahe decidió catalogar las estrellas del firmamento, tanto en lo que respecta a sus posiciones como a sus brillos. La mayor parte de sus observaciones fueron realizadas hacia el año 1592, y sus resultados están contenidos en un catálogo de 777 estrellas, con posiciones referidas al equinoccio del año 1600. Nuevas observaciones que realizó en el año 1595 llevaron el número total de estrellas catalogadas a 1000; estos resultados están incluidos en un segundo catálogo, el que fue corregido, al menos parcialmente, por Kepler.

Hacia 1603 apareció la "Uranometria" de Bayer. La obra de Bayer se destaca por dos razones, a saber: 1º porque representó a las constelaciones en cartas, y tal como se ve la esfera celeste desde dentro (lo que no se hacía anteriormente, por ejemplo, en el globo celeste de Ptolomeo); y 2º por haber asignado sistemáticamente letras a las estrellas de las constelaciones para distinguirlas entre sí.

Si bien el telescopio hace su entrada en la Astronomía en el año 1609 con Galileo, no fue extensamente utilizado en sus primeros años para prolongar la escala de magnitudes de manera de alcanzar estrellas más débiles que las vi-

sibles a simple vista. A excepción hecha de unas incursiones esporádicas del mismo Galileo, quien describe la apariencia de las estrellas fijas y extiende la escala de brillos hasta la magnitud 12 (magnitud 8,5 de la escala actual) en su "Sidereus nuncius", las primeras aplicaciones del telescopio en este terreno se deben a Cassini y Montanari, por el año 1650 y a Flamsteed, aproximadamente hacia el año 1700. De ahí en adelante, las estimaciones de brillo de las estrellas débiles será un sub producto de los catálogos meridianos, mereciendo ser citados en conexión con este punto: Lalande, Lacaille, Bessel, Piazzzi y Groombridge.

Entre los que hicieron estimaciones del brillo de las estrellas del hemisferio sur debemos citar a Halley (que observó desde la isla Santa Elena, 1676-1678), y al padre Noël (que realizó sus observaciones desde Macao, entre 1685 y 1700, y más adelante desde Goa en 1706 y 1707).

### 2.4.- Sir William Herschel

Las primeras estimaciones de magnitudes estelares realizadas por sir William fueron publicadas en un trabajo que data de 1796.

Herschel comenzó por ordenar de mayor a menor los brillos de conjuntos de estrellas, formando las así llamadas secuencias. Posteriormente, aplicando el "método de pasos", determinó cuánto diferían entre sí las estrellas de la secuencia. Esta manera de proceder es original de sir William.

El método de los pasos es aplicado aún hoy por los aficionados observadores de estrellas variables, y vale la pena describirlo. Al observar dos fuentes luminosas puntiformes de intensidad muy similar, ocurre que el ojo percibe alternadamente a una y a otra como más brillante. Si se observa que tantas veces es más brillante una como veces es más brillante la otra, entonces decimos que las dos fuentes tienen igual brillo, o que sus brillos difieren en cero paso. Si una de las dos fuentes aparece con mayor frecuencia más brillante que la otra, decimos que sus brillos difieren en un paso. Si una de las fuen-

(3) Ver. Wash. Carn. Inst. Publ. N° 250 (1917).

tes es usualmente más brillante que la otra, pero, ocasionalmente, esta última se destaca con características de mayor brillo, decimos que la diferencia es de dos pasos. Cuando una aparece siempre más brillante que la otra, pero la diferencia es pequeño, estando en el límite de lo perceptible, la diferencia es de tres pasos. Para un observador experimentado, una diferencia de un paso suele ser equivalente a un décimo de magnitud.

El ordenamiento de conjuntos de estrellas en secuencias de brillo, y la determinación precisa de sus intensidades por el método de los pasos, significa un gran adelanto en esta primera etapa de la fotometría. Hasta ese momento, cada observador había mantenido en su subconsciente una escala personal de brillos, asignando las magnitudes a las estrellas conforme a ella; es decir, que no siempre las estrellas eran comparadas entre sí. Con toda propiedad se ha dicho que los brillos estelares se estimaban por memoria.

#### 2.5- Friedrich Wilhelm August Argelander - (1799-1875)

Parece ser que fue debido a la influencia de Bessel el que Argelander se dedicara a la Astronomía. A la edad de 24 años se le confió la dirección del Observatorio de Abo (Finlandia) y a los 33 pasó a desempeñarse con un cargo similar en Helsinki. En 1837 fue designado profesor de astronomía en la Universidad de Bonn e, indudablemente, allí comienza el período más fecundo de su vida.

Como consecuencia de las observaciones que realizó entre 1838 y 1843, en esta última fecha aparece publicada su "Uranometría Nova". Se trata de un catálogo que incluye 3256 estrellas visibles desde Bonn. Según parece, en la preparación de éste y de posteriores catálogos Argelander aplicó extensamente el método de las secuencias (intercomparando los brillos de las estrellas) y simplificó las notaciones del método de los pasos de Herschel llevándolo a su forma actual. El resultado fue esta "Uranometría Nova", la cual es, en lo que se refiere a su escala de brillos, apenas inferior en precisión a posteriores catálogos fotométricos. Podemos decir que, si no en los detalles, sí en sus lineamientos generales este catálogo se ajusta a la escala de magnitudes del "Almagesto".

#### 2.6.- La "Uranometría Argentina"

Cuando el director Gould llegó a Córdoba en el año 1870, pensó que hasta tanto estuviera instalado el círculo meridiano del observatorio, él y sus colaboradores inmediatos podrían emprender un reconocimiento preliminar del cielo austral. Fue así que, a ojo desnudo, o a lo más empleando un par de anteojos de teatro, compararon entre sí los brillos de todas aquellas estrellas más brillantes que la séptima magnitud comprendidas dentro de los 100° del polo sur celeste. La escala de magnitudes adoptadas es la de la "Uranometría Nova".

El resultado de esas observaciones fue la "Uranometría argentina". Esta obra consta de un catálogo (Vol. I de las publicaciones del Observatorio Astronómico de Córdoba) y de un atlas. Las estrellas incluidas alcanzan a 6755. Las posiciones fueron tomadas directamente de varios catálogos existentes en esa época. El atlas presenta la interesante característica de que cada estrella va acompañada de su magnitud, tal como fue estimada por aquellos observadores de Córdoba. Así mismo, merece destacarse que es en la "Uranometría Argentina" donde aparecen por primera vez las magnitudes de las estrellas indicadas directamente hasta los décimos. En todos los trabajos anteriores (Ptolomeo, Al-Sûfi, Tycho Brahe, etc) los brillos estelares eran expresados, en el mejor de los casos, en fracciones de media magnitud.

#### 2.7.- Los grandes Durchmusterung

Argelander y sus discípulos completaron entre los años 1852-68, la observación de las estrellas que se reunieron en lo que se llama la "Bonner Durchmusterung". Esta inmensa obra consiste en una serie de mapas celestes y catálogos, incluyendo las posiciones aproximadas y las magnitudes de todas las estrellas comprendidas entre el polo norte y -2° de declinación, y con magnitudes menores que 9,2 (en ocasiones se incluyen estrellas con magnitud hasta 10,2). El número total de estrellas incluidas es de 324189. El sistema de magnitudes de la "Uranometría Nova" sirvió de base para determinar los brillos de las estrellas incluidas en la "Bonner Durchmusterung".

La obra de Argelander fue continuada por Schönfeld, quien entre los años 1875-84 observó las estrellas comprendidas entre  $-2^{\circ}$  y  $-23^{\circ}$ . La extensión austral de la "Bonner Durchmusterung" apareció publicada en 1886 e incluye 133659 estrellas.

Al completarse la obra de Argelander y Schönfeld en el año 1884, un gran vacío se hizo evidente en el hemisferio sur celeste, y este vacío vino a ser llenado por otra contribución monumental: la "Córdoba Durchmusterung". Esta obra incluye las posiciones y magnitudes de todas las estrellas más brillantes que décima magnitud, ubicadas entre los  $-22^{\circ}$  y el polo sur celeste; éstas incluidas 613953 estrellas. El sistema de magnitudes es el de la "Bonner Durchmusterung", ya que las estrellas de la zona de Schönfeld fueron utilizadas extensamente como referencia. Las observaciones se comenzaron en 1885, bajo la dirección de J. Thome, y se completaron en 1932 con C.D. Perrine.

Con la publicación de estas grandes Durchmusterung se cierra el primer período de la fotometría. Por cierto que esto no significa que hoy en día no se apliquen procedimientos propios de ese primer período; ya hemos dicho que los aficionados observadores de estrellas variables aún emplean el método de los pasos. Que-

remos significar que con las Durchmusterung termina este período como un movimiento grande y coordinado; de aquí en adelante la fotometría astronómica buscará otros derroteros que le permitan ganar claridad en sus conceptos básicos (magnitud, color) y exactitud en sus resultados.

## 2.8.- Comparación de varias escalas de magnitudes

En la Tabla 2-1 se puede ver la relación que existe entre las magnitudes de algunos observadores del primer período y la escala moderna.

La primera columna de la tabla,  $M$ , indica la magnitud según el observador de referencia; los valores en las otras columnas indican las magnitudes correspondientes según la escala moderna. Por ejemplo, el valor moderno que corresponde a la magnitud  $M$  1,0 de Ptolomeo, es  $m$  1,0; el que corresponde a la magnitud  $M$  2,0 del mismo Ptolomeo es  $m$  2,4 etc.

Es evidente que la escala moderna no guarda un acuerdo muy estrecho con las antiguas. Además, es posible destacar en las escalas antiguas de magnitudes dos tendencias bien marcadas: aquellas observadores anteriores a Argelander han estado muy influidos por la esca-

TABLA 2-1

Comparación de la escala moderna de magnitudes con algunas antiguas						
$M$	Ptolomeo $m$	Al-Sûfi $m$	Tycho Brahe $m$	Argelander $m$	Heis $m$	Gould $m$
1,0	1,0	0,9	0,9	0,6	0,6	0,8
	1,4	1,2	1,5	1,7	1,7	1,5
2,0	2,4	2,1	2,4	2,3	2,3	2,3
	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9	1,0
3,0	3,6	3,3	3,5	3,4	3,2	3,3
	0,9	1,1	0,8	0,9	1,1	0,9
4,0	4,5	4,4	4,3	4,3	4,3	4,2
	0,5	0,5	0,5	0,8	0,8	0,8
5,0	5,0	4,9	4,8	5,1	5,1	5,0
	0,3	0,4	0,4	0,9	1,0	0,9
6,0	5,3	5,3	5,2	6,0	6,1	5,9

la de brillos de Ptolomeo, en tanto que los que sucedieron al astrónomo de Bonn se vieron fuertemente influidos por él. Se nota, por último, una tendencia entre los observadores a comprimir sus escalas cuanto van hacia las estrellas más débiles. Así encontramos que promediando las escalas de Ptolomeo, Al Sûfi y Tycho Brahe, una estrella de primera magnitud es 3.53 veces más brillante que una de 2a.

en tanto que una de 5a. magnitud es solamente 1.41 veces más brillante que una de 6a. Es obvio entonces, que las escalas distan mucho de la uniformidad.

Se nota también que los observadores más recientes, como Argelander y Gould tienen escalas considerablemente más uniformes que sus antecesores.

Continuará



## COMO NACEN, EVOLUCIONAN Y MUEREN LAS ESTRELLAS

Por: Juan C. Clarió Olmedo  
Observatorio Astronómico  
Universidad Nacional de Córdoba

Uno de los principales problemas que preacupa a la Astronomía moderna es desentrañar el misterio del nacimiento, evolución y desaparición o muerte de las estrellas que pueblan el Universo. Si bien es cierto que en la actualidad hay elementos observacionales que permiten conocer algunas etapas en la evolución de una estrella, también es cierto que algunos estadios en la vida estelar se interpretan sobre una base puramente hipotética.

La evolución de las estrellas es extremadamente lenta, imperceptible a la observación directa; sólo es posible detectarla al considerar un gran número de ellas y tratar de establecer sus características afines y diferenciales. Sin embargo, para desentrañar el misterio de la evolución estelar, los astrónomos comenzaron por estudiar qué es una estrella, para lo cual es necesario conocer la naturaleza de la materia misma.

En la actualidad hablamos de sustancias básicas, tales como hidrógeno, calcio, hierro, etc., y las denominamos elementos químicos. Estos elementos están a su vez constituidos por diminutas partículas llamadas átomos. Los átomos de los diversos elementos están a su vez formados por combinaciones de tres partículas básicas, llamadas electrones, protones y neutrones. Los protones y neutrones se encuentran en el núcleo atómico, en tanto que los electrones forman una nube de partículas alrededor del núcleo. Los electrones tienen carga negativa; los protones, positiva, y los neutrones no tienen carga. El número de protones en el núcleo de un átomo indica a qué clase de elemento

## Brillo y magnitud de las estrellas

En el primer Catálogo estelar preparado por Hiparco (120 a.C.) y conocido a través de Ptolomeo, las estrellas ya se identificaban por su brillo relativo, o magnitud. Las estrellas de dicho Catálogo (Almagesto), se clasificaban por su brillo en seis clases o magnitudes, desde las más brillantes a las que se les atribuyó la magnitud 1, hasta aquellas estrellas apenas perceptibles por el ojo humano, a las que se les asignó magnitud 6. Este sistema se conservó en los catálogos estelares posteriores, descubriéndose más tarde que una estrella de primera magnitud es unas cien veces más brillante que otra de magnitud 6. De esta manera se estableció una escala de magnitudes. La investigación moderna cambió la antigua escala, con el resultado de que algunas estrellas muy brillantes tienen magnitudes negativas, y se perfeccionó esta nueva escala agregando decimales al número entero que representa la magnitud. De esta manera se obtuvo mayor precisión al expresar el brillo aparente de una estrella.

Esta magnitud a la que hemos hecho referencia depende del brillo real, o intrínseco, del objeto y fundamentalmente de la distancia a que se encuentra de la Tierra. La denominamos por tal razón magnitud aparente, en contraposición con la magnitud absoluta que, por definición, es la magnitud aparente que tendría una estrella ubicada a una distancia estándar de 33 años-luz. La magnitud absoluta no depende de la distancia Tierra-estrella, sino solamente de cuán brillante es intrínsecamente la estrella. Así, resulta que una estrella como Sirio tiene una magnitud aparente de  $-1,4$  y una magnitud absoluta de  $+1,4$ . La estrella más cercana a la Tierra, el Sol, tiene una magnitud aparente de  $-27$  y una magnitud absoluta de  $+4,9$ . Esta gran diferencia es simplemente debida a la escasa distancia a que se encuentra ubicado el Sol.

## Diagrama de Hertzsprung-Russell

A principios de 1900, el físico alemán Max Planck desarrolló una teoría con la que demostró que el color y brillo de una estrella dependen esencialmente de su temperatura superficial, en el sentido de que a una estrella de un color determinado corresponde una determinada temperatura de superficie. Así, resulta que las estrellas azules tienen altas temperaturas superficiales, en tanto que las estrellas rojas tienen muy bajas temperaturas en sus superficies. Esto se explica mejor con un simple ejemplo: cuando se calienta una barra de hierro presenta primero un color rojizo; a medida que se calienta adquiere tonalidades distintas que van desde el rojo, pasando por el anaranjado y el amarillo, hasta tomar un tinte blanco azulado a alta temperatura.

Una de las relaciones más importantes en el estudio de las propiedades físicas de las estrellas es la que vincula el color (o la temperatura) y la magnitud absoluta de una misma estrella. Representando en un gráfico cada estrella por un punto cuya abscisa corresponda al color (o temperatura) y su ordenada a la magnitud absoluta, se obtiene el diagrama confeccionado originariamente por Hertzsprung en 1911 y por Russell dos años después. Lo interesante de este diagrama es que las estrellas no están ubicadas al azar, sino que tienden a distribuirse en regiones particulares del mismo. La mayoría de las estrellas se sitúan en una franja que cruza diagonalmente el diagrama; es la llamada secuencia principal, y las estrellas que de acuerdo con su temperatura y magnitud absoluta se ubican en esta banda, se denominan enanas. Por encima de esta secuencia y hacia la parte superior del diagrama aparecen hacia la derecha las llamadas gigantes. En la porción más alta aparecen estrellas de elevado brillo, las supergigantes. Finalmente, en la porción inferior izquierda aparece un grupo reducido de estrellas de escaso tamaño y gran densidad: son las enanas blancas.

En la secuencia principal del diagrama aparecen estrellas de todos los colores, comenzando por las débiles estrellas rojas de baja temperatura superficial, hasta las brillantes estrellas azules de alta temperatura. Las estrellas rojas de esta secuencia son pequeñas en tamaño y masa, en tanto que las azules son muy masivas y de gran tamaño. El Sol, una estrella amarilla en promedio, yace aproximadamente en la mitad de esta secuencia. De esta manera, nuestro Sol es una estrella media desde el punto de vista de la masa y el tamaño.

La posición de una estrella sobre el diagrama H-R nos permite inferir conclusiones interesantes respecto a ella. Por ejemplo, una estrella amarilla, con el mismo color y temperatura que nuestro Sol, pero ubicada en el diagrama ligeramente por encima de la posición del Sol, debe ser intrínsecamente más brillante que el astro rey. Sin embargo, y debido a que tienen la misma temperatura, deben ambas irradiar la misma cantidad de energía por unidad de superficie. Por lo tanto, al ser más brillante que el Sol, la estrella debe irradiar luz desde una superficie mayor o, dicho de otra manera, esta estrella deberá ser mayor que el Sol en tamaño. Análogamente, una estrella amarilla que se ubica debajo de la posición que ocupa el Sol en el diagrama H-R, debe ser más pequeña.

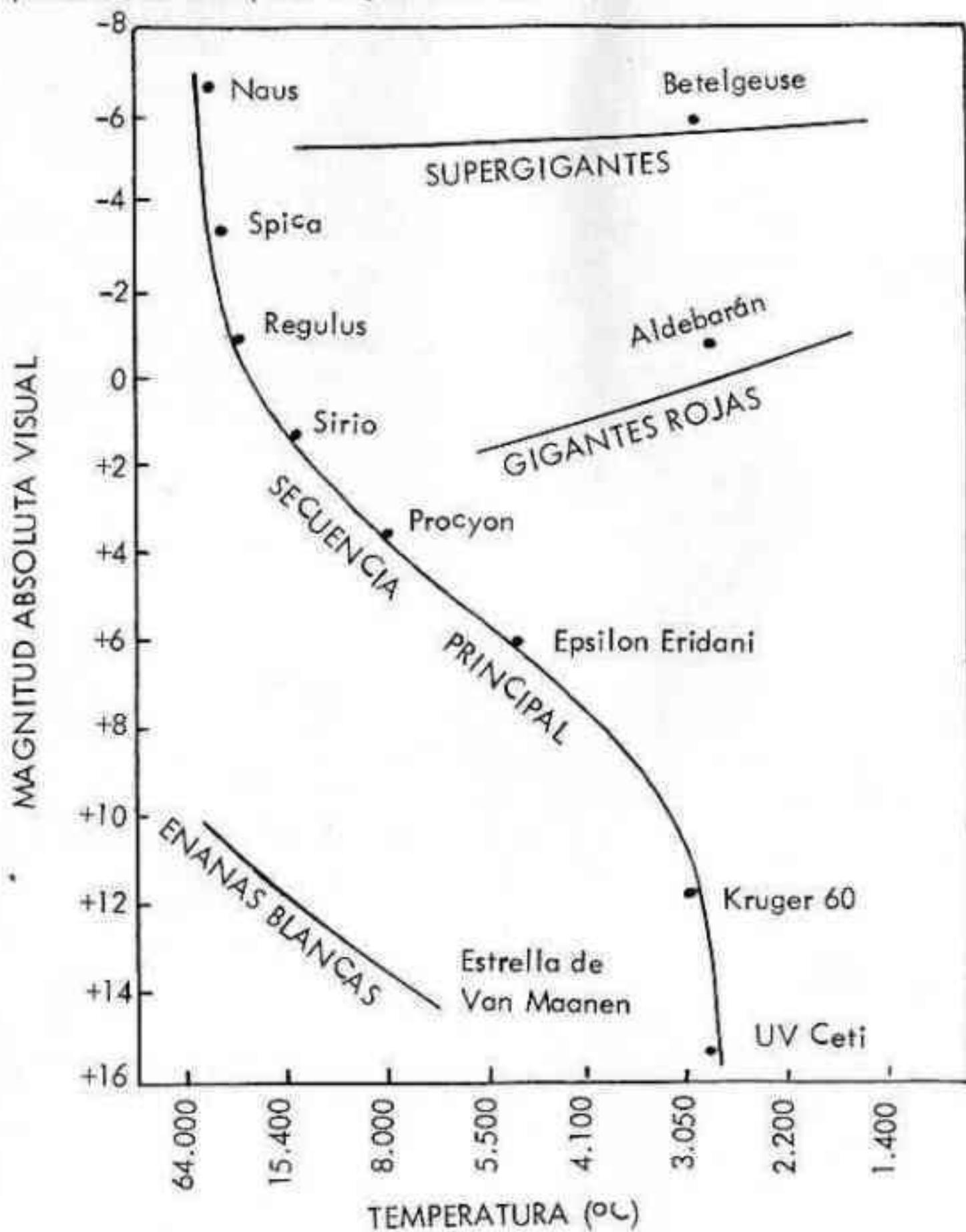


Fig. 1

Diagrama de Hertzsprung-Russel.

En el se han ubicado 11 estrellas, cuyas temperaturas superficiales y magnitudes absolutas se conocen muy bien.

Si bien es cierto que la mayoría de las estrellas son enanas de la secuencia principal, hay sin embargo dos clases de estrellas que yacen apreciablemente alejadas de esta secuencia: son las gigantes rojas y las supergigantes. Éstas son estrellas anaranjadas o rojas de bajas temperaturas superficiales, pero de alto brillo intrínseco, como puede advertirse por su ubicación en el diagrama H-R. Para ser tan brillantes a pesar de su escasa temperatura, deben ser necesariamente de gran tamaño. Algunas de ellas son cientos de veces mayores que el Sol; tal el caso de Betelgeuse, en la constelación de Orion.

Otra clase excepcional por la escasa cantidad de miembros, la constituyen las enanas blancas. De su ubicación en el diagrama inferimos que se trata de estrellas calientes, pero de muy bajo brillo intrínseco. Para ser tan débiles en brillo, a pesar de su elevada temperatura, deben ser

Precisamente, la disposición de las estrellas en el diagrama H-R sugirió a los astrónomos posibles claves para revelar la gran incógnita, esto es la evolución de las estrellas desde que nacen hasta que desaparecen. Como hemos visto, este diagrama muestra que las estrellas más grandes, más masivas, son las más calientes e intrínsecamente más brillantes. Por el contrario, las más pequeñas y menos masivas son las más frías e intrínsecamente más débiles. En un principio, los astrónomos pensaron que esto podría significar que las estrellas comienzan su vida como astros de gran tamaño, muy masivos, calientes y brillantes; luego, por usar su propio material para producir calor, gradualmente se empequeñecen, disminuyen su masa, se enfrían y debilitan. De esta manera, durante su vida una estrella se ubicaría en distintas posiciones a lo largo de la secuencia principal del diagrama H-R. Sin embargo, estas primeras ideas no prosperaron, puesto que en ellas no se incluían las gigantes rojas, supergigantes y enanas blancas. Por otra parte, no explicaba nada acerca de como producen su energía las estrellas. A esta altura tal vez convenga preguntarnos: ¿Por qué brillan las estrellas? ¿De donde sacan su energía? Debemos tener presente que las estrellas no son objetos sólidos, sino grandes globos de gas. La mayor parte del gas que constituye una estrella normal es hidrógeno. El átomo de este elemento consta de un protón que forma el núcleo y un electrón girando en torno de él. Los gases presionan hacia el centro, incrementando la temperatura y la densidad del núcleo estelar. El interior de las estrellas es tan caliente que los átomos de hidrógeno pierden sus electrones exteriores. La temperatura interior asciende progresivamente hasta unos 20 millones de grados centígrados o más. A estas temperaturas interiores tan elevadas, los núcleos atómicos, liberados de su cortejo electrónico que los neutralizan, se mueven a tales velocidades que cuando chocan dos de esos núcleos se producen cambios violentos. Los núcleos de hidrógeno, los protones comunes, chocan con otros núcleos de hidrógeno y con los núcleos de átomos más pesados. Estas colisiones conducen a la formación de núcleos más pesados, especialmente de helio. Se necesitan dos protones y dos neutrones con una masa total de 4,033 unidades de masa atómica para formar un núcleo de helio, cuya masa es 4,004 en la misma escala. Vale decir que una pequeña fracción de la masa original, alrededor del 0,7% se pierde en esta transformación. ¿Qué pasa con esta masa que se pierde? No se pierde, sino que se transforma en energía radiante, en luz, siguiendo la famosa ecuación de Einstein:  $E = mc^2$ , que relaciona la pérdida de masa  $m$  con la correspondiente energía liberada  $E$ , y en la cual  $c$  es la velocidad de la luz. La transformación del H en He es el proceso más eficiente de generación de energía en el interior de las estrellas. Este es, pues, el principal mecanismo por el cual ellas irradian.

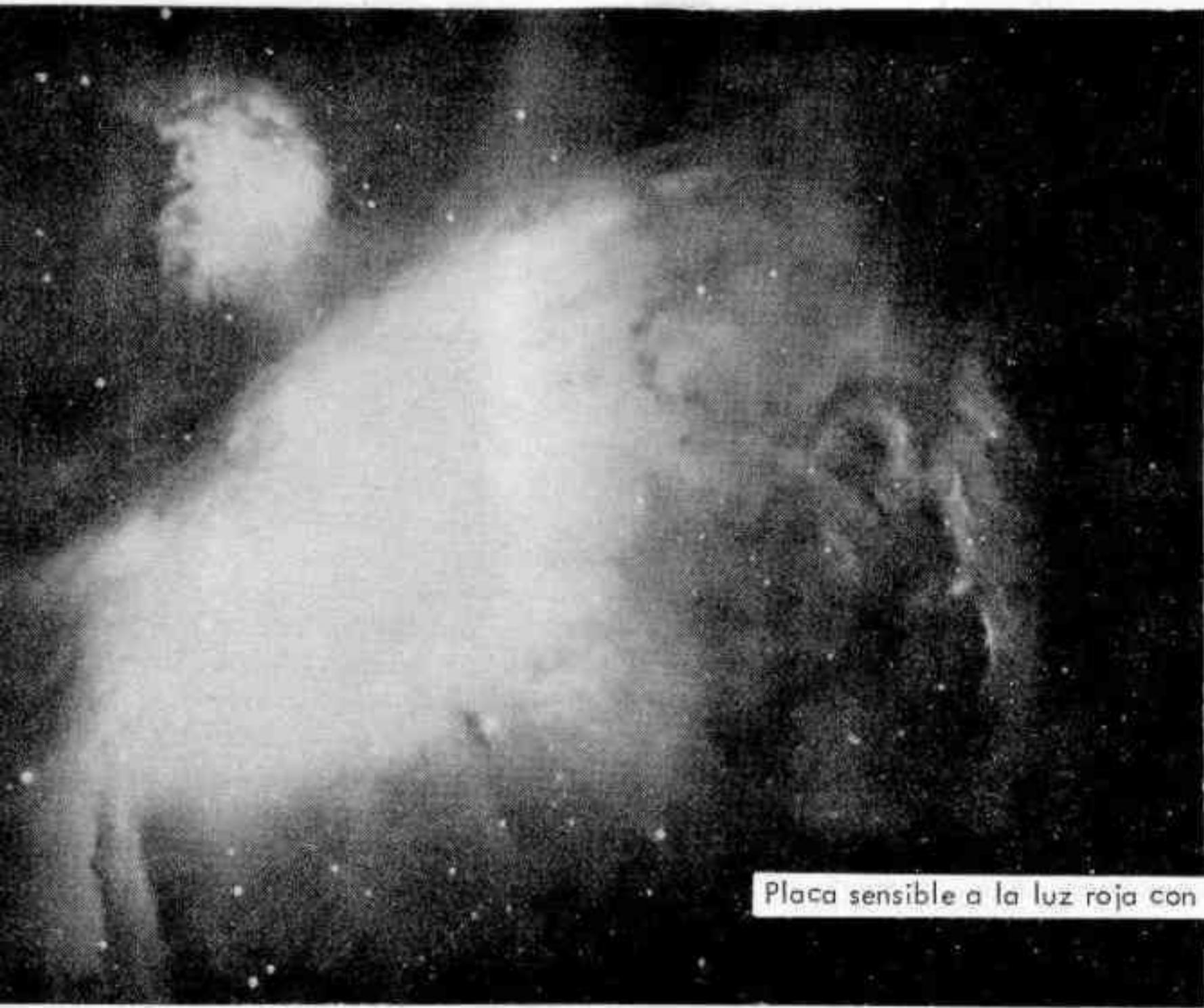
De esta manera, sabiendo que el H es el "combustible" utilizado por las estrellas para irradiar; conociendo la velocidad con que dicho elemento se transforma en helio, y estimando la masa hidrogenica de las estrellas, los astrónomos pudieron calcular la longevidad de una estrella. Resultados obtenidos a partir de numerosas investigaciones demuestran que nuestro Sol, que irradia a una tasa más bien baja, ya que agota el 1% de su masa de H en mil millones de años, contiene en la actualidad un 60% de masa hidrogenica, de manera, pues, que dispone de suficiente combustible para brillar como en la actualidad otros 20 mil millones de años. Pero los resultados no son tan optimistas cuando se trata de estrellas como Sirio, que es tres o cuatro veces más brillante intrínsecamente que el Sol, lo que significa que desprende de 15 a 40 veces más energía por unidad de tiempo. Esta estrella agota el 1% de su masa hidrogenica en 100 millones de años aproximadamente y no puede irradiar energía con el ritmo actual durante más de 4 millones de años.

¿Qué sucede si consideramos las estrellas enanas de la parte superior de la secuencia principal, cuyo brillo intrínseco es equivalente a 10.000 soles y cuyas masas son casi cien veces mayores que la del Sol? En este caso, los procesos nucleares producen energía a velocidades 100 veces mayores que la del Sol, por lo menos, y su reserva total de combustible hidrogenico debe agotarse en 200 millones de años o menos. Por esta razón, estas estrellas pueden ser de origen muy reciente, ya que la edad de nuestra Galaxia se estima en 4.500 millones de años.

Debido a la corta edad de estas estrellas, su estudio ha permitido formular las hipótesis fundamentales que explican el nacimiento de una estrella. Nos referimos a estos objetos como estrellas

O y B, las que entre sí sólo se distinguen por diferencias relativamente pequeñas en temperatura superficial.

### Cómo nacen las estrellas?



Placa sensible a la luz roja con filtro GG 14

Fig 2 - Nebulosa de Orion; una gran concentración de material interestelar en donde presumiblemente se están formando nuevas estrellas. Fotografías obtenidas en el Observatorio de Córdoba, Bosque Alegre, con el telescopio de 1,54m de diámetro.

La historia de una estrella comienza con su gestación. Numerosas evidencias observacionales confirman que las estrellas se forman a partir de las nubes de gas (esencialmente H) y polvo del espacio interestelar. Precisamente, las estrellas O y B, de reciente formación, suelen aparecer agrupadas en el cielo (cúmulos estelares) asociados con nebulosidades de gas y polvo. No es extraño esto, puesto que el gas y el polvo cósmico constituyen la materia prima para la elaboración de estrellas.

Podemos ahora preguntarnos: ¿Cómo nace una estrella a partir del gas y polvo del espacio? Las nubes de gas y polvo, de diferentes masas, están en movimiento continuo hasta que por puro accidente se agrupan formando una masa mayor que tiende a atraer a las restantes nubes de las inmediaciones. Se forma entonces una condensación de material interestelar o glóbulo, en la que se producen contracciones, debido al principio a los efectos de la presión gaseosa y luego a la propia acción gravitacional: esto es, al gas de la periferia que tiende a "caer" hacia el centro impulsado por la fuerza gravitatoria. Cuando hay muchos centros de gravitación en una nube compacta, puede nacer una estrella con varios planetas, una estrella múltiple, o una estrella múltiple con algunos planetas.

Entretanto la contracción o colapso gravitatorio continúa, el glóbulo sigue capturando material e incrementando su densidad hacia el centro. Esta concentración calienta las regiones centrales por la liberación de energía gravitacional (el calor de los átomos que se acercan y chocan).

Cuando el gas se ha contraído hasta un tamaño aproximadamente igual al doble del diámetro del sistema solar se ha condensado tanto que el glóbulo puede aparecer como una mancha oscura que contrasta contra regiones de nubes saturadas de gas y polvo cósmico. Estos glóbulos, que pueden considerarse verdaderas protoestrellas, se observan telescópicamente en zonas del cielo donde la densidad de nubes de gas es muy alta.

A medida que la protoestrella continúa "colapsándose" (contrayéndose), la temperatura asciende en la región central, hasta que cuando su valor llega aproximadamente a 10 millones de grados centígrados, comienzan las reacciones nucleares. El H del núcleo comienza a fundirse y transformarse en helio. Como ya dijimos, la masa perdida en esta transformación se convierte en energía radiante.

Al principio, las fusiones nucleares de átomos simples son poco frecuentes y generan escasa energía. Pero, a medida que la protoestrella continúa contrayéndose bajo el peso acumulativo de sus capas exteriores, los átomos del núcleo son prensados más estrechamente y se funden cada vez con mayor frecuencia. La energía radiante pasa a las capas superiores calentándolas y expandiendo

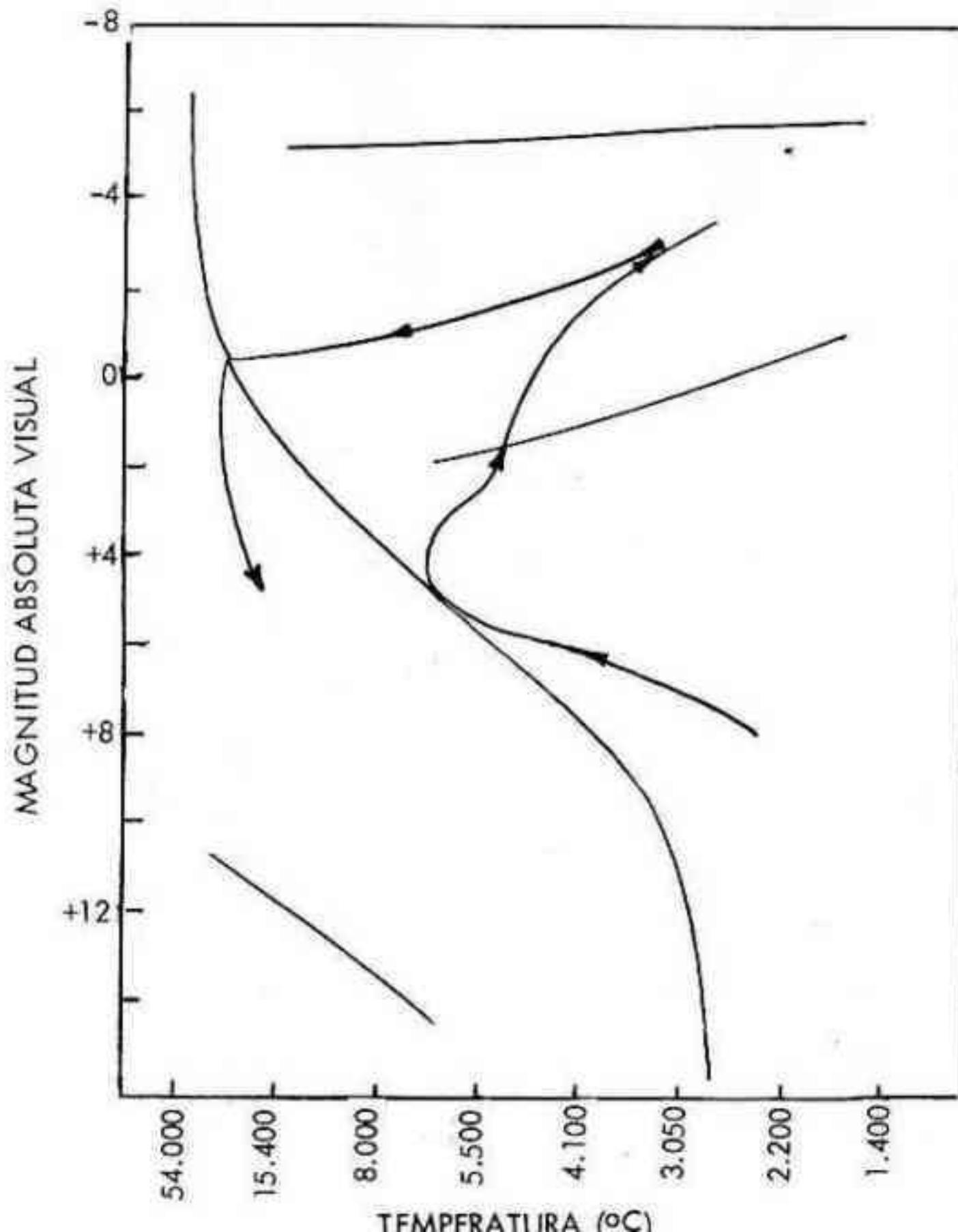


Fig. 3

- Durante su nacimiento, evolución y muerte, una estrella como el Sol cambia su ubicación en el diagrama H-R. Durante la etapa de contracción (centro) se calienta moviéndose hacia la izquierda hasta asentarse en la secuencia principal.

En este lugar pasa la mayor parte de su vida. Agotado su combustible hidrogénico, se enfría, y adquiere enorme brillo y tamaño, ubicándose en la rama de las gigantes.

En el próximo estadio vuelve a la secuencia principal y decae rápidamente hasta convertirse en una enana blanca.

la zona de alta temperatura donde se realizan las reacciones nucleares. La presión hacia afuera, ejercida por la radiación, contrarresta la acción gravitatoria. Disminuye la contracción, y las partes superficiales de la protoestrella se calientan y se vuelven más brillantes.

Cuando las reacciones nucleares en el centro suministran suficiente energía radiante como para equilibrar las fuerzas gravitatorias, la protoestrella deja de ser tal y se convierte en una estrella. El objeto recién nacido comienza a vivir una larga etapa de estabilidad en tamaño, brillo y temperatura.

Este proceso de formación dura unos 50 millones de años en estrellas de la masa del Sol; mucho más para estrellas de menor masa; aproximadamente 5 millones de años para estrellas masivas (tipos O y B). Al terminar este proceso de formación, la estrella estable tiene una temperatura y brillo tales, que se ubica en algún punto de la secuencia principal. El punto exacto en que se ubicará en esta secuencia depende de la cantidad de material que había en la nube protoestelar. Nubes primigenias muy masivas producen las brillantes estrellas calientes del extremo superior de la secuencia principal (O y B). Por el contrario, nubes de gas con masas diez o doce veces menores que la del Sol, producen las débiles estrellas rojas del otro extremo de la secuencia.

Una vez ubicada en la secuencia principal, la estrella estabilizada en brillo y temperatura permanece la mayor parte de su vida irradiando normalmente. El tiempo que permanece en estas condiciones de vida normal depende, esencialmente, de la rapidez con que agota su combustible de H.

A medida que se extingue el H en el núcleo, la energía producida en éste disminuye; el núcleo estelar se enriquece en helio, y comienza a contraerse por gravitación al no existir presión de radiación que contrarreste este efecto.

Cuando la estrella ha quemado el 10% del H, se produce una crisis provocada por la ceniza de helio acumulada en el núcleo. A medida que estas cenizas se apilan en el centro, la fusión continúa en el área brillante que la rodea, y las cenizas se contraen por su propio peso; sus núcleos atómicos se aprietan, sus electrones son desplazados de sus órbitas y generan energía gravitacional. Esta energía eleva la temperatura nuclear, y el calor adicional acelera la fusión en el área circundante. Las regiones exteriores de la estrella hierven y se expanden. La estrella crece y aumenta su brillo; pero la temperatura de las capas exteriores, cada vez más alejadas del horno nuclear, disminuye lentamente. La crecida estrella se enfría y enrojece. De su posición normal en la secuencia principal, se desplaza ahora rápidamente hacia la derecha del diagrama H-R, convirtiéndose en una gigante roja (si era del tamaño del Sol), o en una supergigante (si era más voluminosa).

En el estado de gigante roja (o supergigante) la estrella consume su H rápidamente; se amontona el helio en el núcleo y aumenta la presión y la temperatura en esta región. Una vez agotado el 40% de H en el núcleo (en una estrella media del tamaño del Sol), éste se contrae y produce temperaturas hasta de  $110.000.000^{\circ}\text{C}$ . A esta temperatura, tres átomos de helio pueden convertirse en uno de carbono; con otro átomo más resulta oxígeno y con un quinto átomo resulta neón.

En este momento puede producirse una violenta explosión o "fogonazo de helio", que de acuerdo con los cálculos, debe destrozar parcialmente a la estrella. Los gases exteriores deben ser capaces de absorber la explosión, y la estrella, desprovista de su núcleo anormal (disperso en las capas exteriores), puede rejuvenecer y volverse más caliente, azul y de pequeño tamaño. Es probable que las cenizas de helio dispersas en las capas exteriores de gas se reúnan formando un núcleo adicional. En esta etapa el núcleo puede componerse de dos capas: una, de materiales pesados (C, O y Ne) en las regiones más profundas y otra de helio, en la siguiente región. Rodeando esta última capa habrá una envoltura de H en fusión.

Puede no terminar aquí el proceso. Si la estrella es bastante grande y genera mucho calor me-

tar nuevamente, como lo hizo antes el núcleo de helio. A 780 millones de grados centígrados las inertes cenizas de neón se convierten en combustible. A temperaturas mayores, del orden de 1500 millones de grados centígrados, se forman átomos de aluminio, fósforo, azufre y silicón, los cuales, al llegar a temperaturas hasta los 2.200 millones de grados centígrados, se transmutan en átomos más pesados de titanio, manganeso, cromo, hierro, níquel, cobalto, cobre y cinc. Es así como puede concebirse una estrella muy pesada, con una cadena de reacciones concéntricas simultáneas, en la que cada eslabón provee ceniza al inferior para producir una mayor cantidad de calor. Cada nueva explosión nuclear se realiza más vertiginosamente que la anterior, haciendo así cada intervalo más corto.

Después de este período como gigante roja, posiblemente la estrella se desplaza hacia la izquierda en el diagrama H-R, perdiendo gran parte de su brillo y calentándose. Cruza la secuencia principal y decae rápidamente en el diagrama debilitándose aún más, aunque manteniendo su elevada temperatura. Se acerca ahora rápidamente, a la etapa de enana blanca, donde terminará sus días.

### Cómo mueren las estrellas?

Una vez agotado el combustible del núcleo y de las capas superiores, la estrella entra probablemente en una etapa de colapso completo. En este estadio se contrae a tal punto, que su tamaño puede ser poco más grande que el de nuestro planeta. La densidad y la presión alcanzan valores muy elevados, y si bien la temperatura es también elevada, la energía irradiada por la estrella es poca debido a su extremada pequeñez y brillo intrínseco.

Finalmente, cuando la estrella no pueda contraerse aún más, comienza a enfriarse lentamente. Posiblemente termina sus días como un objeto frío, oscuro y extremadamente denso. La densidad es tan elevada que una cucharadita de material de esta estrella puede pesar una tonelada.

En diversas etapas de su vida, las estrellas eyectan material al espacio. Al principio, en el estadio protoestelar, porciones de gas de su región exterior son sopladas hacia el espacio, debido a la energía proveniente del centro de la nube. En el estadio de estrella enana, pierde aún más material por simple eyección al espacio, tal como acontece en nuestro Sol actualmente. Cuando la estrella se expande y se convierte en gigante roja, la fuerza gravitatoria en su superficie disminuye permitiendo el escape de material hacia el espacio. Es finalmente posible que la estrella, en el último estadio de su involución, explote violentamente, devolviendo todo su material al espacio interestelar.

A través de todos estos procesos, las estrellas devuelven al espacio gran cantidad de material en forma de H, He y elementos más pesados elaborados en las estrellas. De esta manera, el gas y el polvo del espacio se reponen constantemente y se mezclan con elementos elaborados por las estrellas. A partir de este material, se forman nuevas estrellas, originándose un proceso continuo.

Si la Vía Láctea primigenia hubiera sido toda de H, como suponen numerosos astrónomos, entonces el Sol debe pertenecer a la segunda, tercera o, quizá, cuarta generación de estrellas creadas por un gas enriquecido por restos de astros que explotaron antes de formarse la Galaxia.



Por: Gustavo J. Carranza  
Observatorio Astronómico - Córdoba  
CNICT, Buenos Aires

## Introducción

Cuando el cielo se observa con un telescopio de luminosidad moderada o alta ( $F = \text{distancia focal} / \text{apertura} = 5,0$  o menos) es dable percibir regiones débiles de contextura nebulosa y variadas formas y dimensiones.

Una proporción de tales nebulosidades son, en realidad, sistemas estelares no resueltos, como cúmulos globulares y galaxias. Otras, en cambio, son verdaderas nubes asociadas a las estrellas de su vecindad. Espectroscópicamente, se comprueba que cuando están relacionadas con estrellas muy calientes ( $T. \text{sup} > 15.000 \text{ } ^\circ\text{K}$ , o sea, de los tipos espectrales O5 hasta B3) el espectro nebuloso se compone principalmente de líneas brillantes (por ejemplo, la serie de Balmer del hidrógeno, ciertas líneas prohibidas del nitrógeno ionizado, del oxígeno ionizado una o dos veces, etc.) sobre un continuo débil. Si, en cambio, están vinculadas con estrellas de menor temperatura, (digamos de tipos espectrales más tardíos que B3) el espectro nebuloso se compone de un continuo con líneas de absorción, y es semejante al de las estrellas.

La materia interestelar se manifiesta, además, de otras maneras tanto óptica como radioastronómicamente. A veces se destaca como enormes sombras proyectadas sobre campos estelares más o menos ricos; a veces produce finas líneas de absorción (H y K del calcio ionizado, por ejemplo) que se superponen a las típicas estelares, y generalmente absorbe, enrojece y polariza la luz de objetos distantes. Las zonas del cielo en que estas observaciones se concentran coinciden con la Vía Láctea, y análoga distribución parece hallarse en otras galaxias.

La Radioastronomía, por su parte, detecta a lo largo de la Vía Láctea, la línea de 21 cm del hidrógeno neutro en emisión y señales de espectro continuo, algunas de las cuales coinciden con nebulosas visibles. Observaciones semejantes han sido realizadas en otras galaxias.

Las múltiples y complejas formas en que se pone de manifiesto observacionalmente la materia interestelar son debidas, por lo general, a la amplia variedad de condiciones físicas a que se halla expuesta. Las observaciones permiten concluir que se trata de un tenue medio de gas y polvo con condensaciones de variadas dimensiones y composición más o menos uniforme.

## Distribución en la Galaxia:

Las observaciones ópticas y radioastronómicas señalan que el medio interestelar se halla dispuesto en una capa plana relativamente fina (espesor  $\approx 300 \text{ pc}$ ), coincidente con el plano galáctico excepto en los bordes de la Galaxia. En las zonas correspondientes a los brazos espirales se nota una mayor concentración de hidrógeno neutro, nebulosas brillantes y material absorbente, con distribuciones relativas ligeramente diferentes; hacia el interior de los brazos se ubican las zonas más absorbentes, algo hacia afuera las regiones de emisión y siempre siguiendo la geometría de los brazos, pero envolviendo a la materia oscura y brillante, las zonas de mayor concentración de hidrógeno

La materia interestelar participa generalmente de la rotación del sistema galáctico, a la que se superponen movimientos irregulares con velocidades del orden de 5 km/seg. En las partes más internas de la Galaxia los movimientos dejan de ser puramente rotacionales, lo que permite suponer la acción de otras fuerzas aparte del campo gravitatorio: por ejemplo, campos magnéticos, gradientes de presión, etc.

### Características del medio interestelar:

El análisis de la línea de 21 cm. en componentes de diferente velocidad radial-nubes interestelares individuales- permite estimar las características de éstas. La temperatura que se observa es de 125 °K, aproximadamente, y la masa y dimensión que resultan para una nube típica son del orden de 15 masas solares y 10 pc, respectivamente, aunque con fluctuaciones muy grandes en las condensaciones individuales: desde nebulosas enormes y tenues (de  $10^3$  a  $10^4$  masas solares y 60 pc) a glóbulos pequeños y densos (de 0,1 masas solares y 0,1 pc). Entre las condensaciones la densidad de materia interestelar es muy baja, probablemente 1/30 de la densidad de las nubes.

La presencia de otros elementos y la existencia de condensaciones con movimientos comparables a los hallados radioastronómicamente son puestos en evidencia por delgadas líneas de absorción -generalmente múltiples y con velocidades radiales no coincidentes con las medidas en las estrellas-, que se observan en espectros estelares de alta dispersión. La composición del medio es la siguiente (en número relativo de átomos): H,  $10^6$ ; He,  $10^5$ ; O,  $9 \times 10^2$ ; Ne,  $5 \times 10^2$ ; C,  $4 \times 10^2$ ; N,  $10^2$ ; etc.

Aparte de la absorción en líneas que son características de su composición química, el medio interestelar produce una absorción continua que atenúa el brillo de objetos distantes. Dicha absorción, lejos de ser uniforme, refleja la estructura "grumosa" del medio. Sus efectos son más marcados en la luz azul que en la roja (o sea, produce enrojecimiento) y generalmente muestra una vinculación directa con la polarización presente en la luz de estrellas oscuras. Las características observadas del enrojecimiento hacen imposible que sea debido exclusivamente al gas, y por ello debe suponerse la existencia de partículas sólidas (probablemente dieléctricas) de dimensiones comparables a la longitud de onda de la luz. Además, la polarización observada requiere partículas alargadas orientadas perpendicularmente al plano galáctico (quizá por campos magnéticos). La proporción de polvo requerida es muy pequeña (0,1%).

Cuando las nubes de gas y polvo del medio interestelar interceptan la radiación de un fondo estelar rico se hacen visibles como nebulosas, más o menos oscuras según sea su densidad.

Si, en cambio, son iluminadas por estrellas próximas no muy calientes, la luz estelar que difunden (y a la que deben su espectro continuo) puede ser detectada. Este tipo de nebulosas brillantes se denomina "nebulosa por difusión" y son ejemplificadas por las que rodean a las estrellas de las Pléyades.

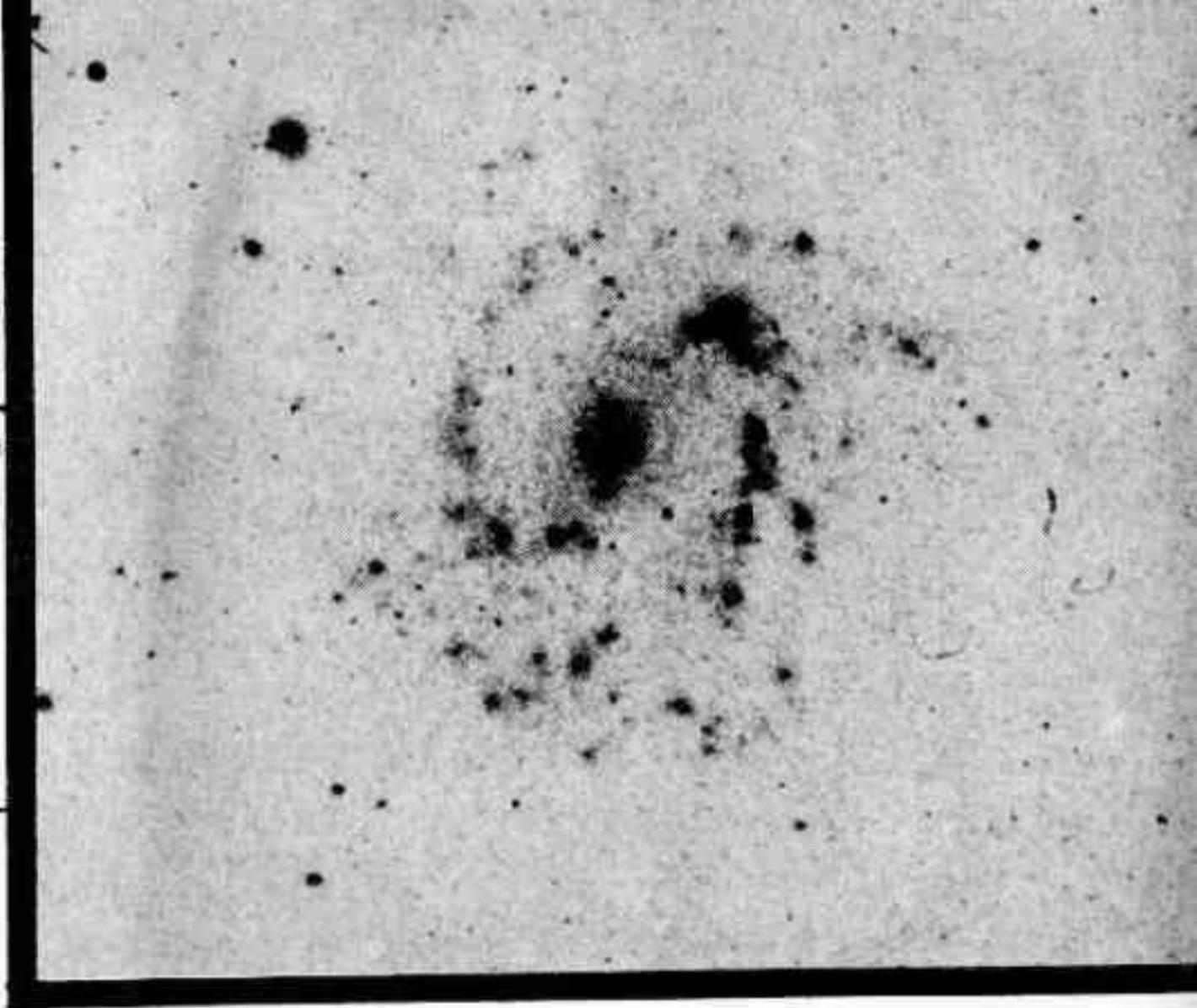
### Nebulosas de líneas de emisión:

Cuando el medio interestelar es iluminado por estrellas próximas y muy calientes, los fenómenos dominantes son de otra índole, y los resultados observacionales presentan en el rango óptico un aspecto espectacular.

Las estrellas muy calientes (de tipos espectrales más tempranos que B3) emiten una proporción considerable de radiación ultravioleta. Cuando se hallan próximas o embebidas en nubes del medio interestelar, su radiación de longitud de onda menor que  $912 \text{ \AA}$  es en gran parte absorbida por el gas, que se ioniza y calienta a temperaturas de varios miles de grados. La ionización, como demostró Strömgren, cesa casi abruptamente a una distancia de la estrella que depende de la densidad del medio y de la temperatura estelar. La zona interna, ionizada, se denomina usualmente "región HII"; la más externa, neutra, "región HI".

Fig. 1

Fotografía monocromática de NGC 5236, que muestra la distribución de sus regiones HII. Fue tomada en la luz H-alfa mediante un filtro interferencial de 10 Å de banda pasante.



Numerosos son los procesos que tienen lugar en una región HII. Las continuas colisiones entre iones  $H^+$  y electrones hacen que permanentemente se estén reconstituyendo átomos de hidrógeno, cuyos electrones decaen hacia niveles de energía más bajos mediante emisión de radiación en determinadas longitudes de onda ópticas (series de Balmer, por ejemplo) y de radio.

Las colisiones de iones (por ejemplo, oxígeno ionizado una o dos veces, nitrógeno ionizado una vez) con electrones eleva a tales iones a ciertos niveles energéticos llamados metastables, de donde, en condiciones normales de densidad, son sacados otra vez por colisiones sin que haya emisión de luz. La baja densidad de las nubes interestelares permite que la salida de los iones de tales niveles suceda mediante la emisión de radiación en líneas bien definidas (por ejemplo,  $\lambda 6548 \text{ \AA}$  y  $\lambda 6584 \text{ \AA}$  en el caso del nitrógeno ionizado). Pese a la baja proporción de estos elementos en el medio interestelar, su importancia es grande, ya que actúan como reguladores de temperatura de las regiones HII.

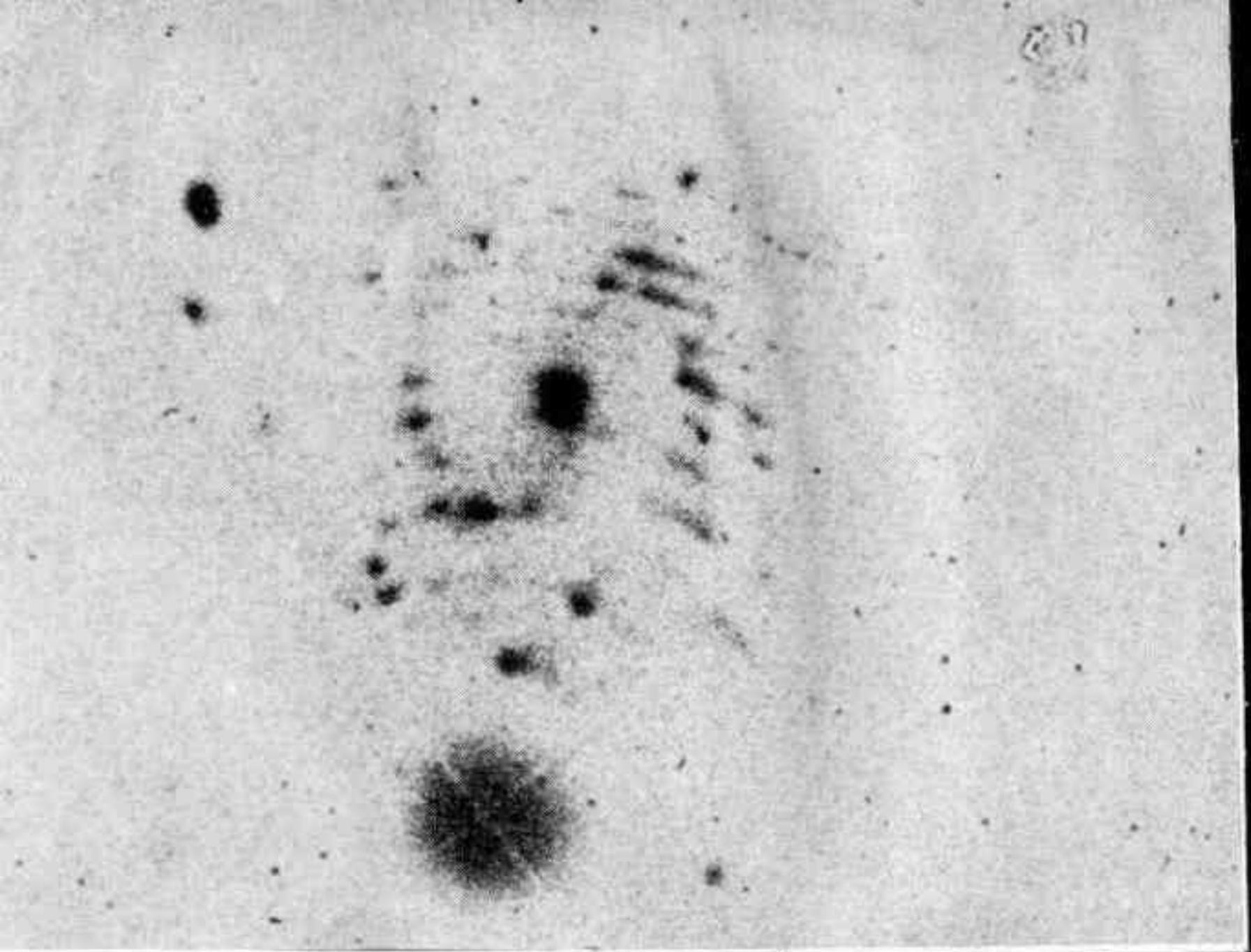
Aparte de la emisión en líneas discretas, en las regiones HII se produce un continuo relativamente débil debido a diversos procesos, entre los que cabe mencionar los de recombinación, a las bruscas aceleraciones de electrones libres, etc.

Sintetizando, puede decirse que las regiones HII brillan transformando radiación estelar de temperatura y anisotropía elevadas en radiación de temperatura y anisotropía mucho menores.

#### Distribución en otras galaxias:

Las observaciones ópticas y de radio muestran que el contenido de materia interestelar en otras galaxias depende marcadamente de su tipo morfológico. El porcentaje de masa en forma de hidrógeno neutro es muy pequeño (4% o menos) en las elípticas, aumenta a lo largo de la secuencia Sa, Sb, Sc de las espirales (donde es del orden del 7%), hallándose el máximo en los objetos irregulares (20% y a veces más). El número de regiones HII en cada galaxia aumenta también en el mismo sentido.

La distribución de materia interestelar en las galaxias es en un todo comparable con la de la V Láctea: concentrada en un plano y con las nubes oscuras y las regiones HII delineando brazos espirales. En algunas espirales de suficiente extensión angular se puede comprobar que las zonas nucleares son las de menor concentración de hidrógeno neutro.



**Fig. 2** Interferograma de NGC 5236. La radiación que produjo los anillos de interferencia es la emisión H-alfa de sus regiones HII. El radio de los anillos permite establecer con gran precisión la velocidad radial de las nubes emisoras. La sombra cruzada por un retículo es una señal de referencia.

### Materia interestelar y formación de estrellas:

La formación de estrellas es un fenómeno general que, en la actualidad, tiene lugar en los brazos espirales de nuestra Galaxia y de otros sistemas espirales. Es también en los brazos espirales donde se encuentra la mayor concentración de gas y polvo interestelares, lo que sugiere que las estrellas se originan en dicho medio. Los detalles del proceso que sufre el material interestelar para finalizar dando origen a una estrella o a un grupo de estrellas no son conocidos suficientemente, aunque es posible conjeturar sus rasgos principales.

Una nube aislada y transparente que pierde energía por radiación tiende, bajo la acción de su gravedad, a contraerse. La contracción prosigue hasta que la nube, para mantener su ajuste termodinámico, se fragmenta. Cada sub-nube puede reiterar el proceso, que se detiene cuando los fragmentos resultantes son opacos. La evolución de los fragmentos finales hacia estados cada vez más densos y calientes, culminan en una estrella. Las últimas etapas en la evolución de una nube posiblemente puedan ejemplificarse con los glóbulos.

Hemos señalado más arriba que las galaxias irregulares (las de población estelar más joven) son las de mayor contenido gaseoso, y que las elípticas (de población estelar muy vieja) casi no tienen gas. Quizá se deba ello a que todas las galaxias fueron en sus primeros tiempos masas de gas de donde se formaron progresivamente las estrellas. En las elípticas, el proceso de formación de estrellas habría tenido tiempo de agotar el gas inicial, en las espirales estaríamos observando una

Denominación definitiva de los cometas de 1969

I	Nuevo	Thomas	Enero	12,2	1968j
II	Periódico	Gunn	Abril	19,0	1970p
III	Periódico	Harrington-Abell	Mayo	10,8	1968i
IV	Periódico	Churjumov-Gerasimenko	Set.	11,0	1969h
V	Periódico	Honda-Mrkos-Pajdusakova	Set.	23,0	1969e (E)
VI	Periódico	Faye	Oct.	7,6	1969a
VII	Nuevo	Fujikawa	Oct.	12,4	1969d
VIII	Periódico	Comas-Solá	Oct.	29,1	1968g
IX	Nuevo	Tago-Sato-Kosaka	Dic.	21,3	1969g

Cometa 1970p - Gunn: Los siguientes son elementos mejorados dados por el doctor Brian G. Marsden satisfaciendo seis observaciones entre el 27 de octubre y el 3 de marzo, con residuos menores de 2".

$$\begin{aligned}
 T &= 1969 \text{ abril } 19,00 \text{ T.E.} \\
 \omega &= 197^{\circ}20 \\
 \Omega &= 68^{\circ}05 \\
 i &= 10^{\circ}39 \\
 q &= 2,4431 \text{ UA} \\
 e &= 0,3196 \\
 a &= 3,5905 \text{ UA} \\
 n^{\circ} &= 0,14487 \\
 p &= 6,80 \text{ años}
 \end{aligned}
 \left. \vphantom{\begin{aligned} \omega \\ \Omega \\ i \end{aligned}} \right\} 1950,0$$

Cometa 1971a -TOBA: Nuevo. Los japoneses comenzaron bien el año, descubriendo el primer cometa. La comunicación la hace el Observatorio de Tokio cuyo director informa que fue descubierto por Toba en la posición: Alfa: 21h36m y Delta: +23°28' de magnitud 10 el día 7,80556 de marzo. Es difuso, con condensación central y -según Seki- con una pequeña cola de menos de 1°.

1971 FA: Tal es la designación que ha recibido un objeto descubierto por el doctor Tom Gehrels en Monte Palomar el 26 de marzo en placas expuestas con la cámara Schmidt. Tiene apariencia estelar y la magnitud entre 16 y 17. Ya se le calcularon elementos orbitales que lo ubican entre los asteroides del grupo de Apolo. Quizá en nuestro próximo número podamos ampliar esta noticia.

Nova en la Nube Menor de Magallanes: La descubrió el doctor J.A. Graham desde Cerro Tololo como de magnitud 12. Se encuentra a 1' al sur de una doble visual cuyos componentes son de magnitud 13. La nova no aparece en placas tomadas el 24 de enero y por lo tanto hasta esta fecha su magnitud sería inferior a la magnitud 14.

Ocultaciones de estrellas por planetas: Parecería que un planeta debería ocultar a una gran cantidad de estrellas cuando atraviesa un campo densamente poblado como lo es la zona de Scorpius. Sin embargo, estos acontecimientos son muy raros y el último ocurrió en la noche del 13 al 14 de mayo, en que Júpiter ocultó a la estrella Beta del Escorpión y el satélite Io hizo otro tanto con una estrella anónima de magnitud 5,1 situada en las cercanías.

Una nueva estrella pulsante, que emite radiación X y que se ha revelado como única en su género, fue detectada dentro de nuestra galaxia por medio del instrumental instalado a bordo del satélite astronómico Explorer 42, denominado "Small Astronomy Satellite". El mismo fue ubicado desde la base flotante sobre la costa africana de Kenya, en órbita terrestre, el 12/12/70.

La nueva estrella, identificada como Cygnus X-1, en la constelación de ese nombre, ha sido localizada por emitir pulsos a razón de 15 por segundo. La explicación actualmente aceptada sobre este misterioso objeto celeste sería la presencia de una estrella constituida por neutrones, que rotaran en forma mas o menos discontinua.

En teoría, la Nebulosa del Cangrejo y las estrellas pulsar que emiten radiación X, fueron originadas cuando se produjo la explosión de aquéllas hace mas de 1.000 años.

Las pulsaciones serían producidas cuando el colapso gravitacional causaría la aglutinación en forma compacta de la materia estelar hacia una densidad nuclear de cerca de 1 billón de toneladas por pulgada cúbica en un segundo. Posteriormente, la repercusión de la onda de choque generada por la explosión provocaría que la atmósfera estelar comenzara a propagarse en el espacio intergaláctico como una nube de gas. Tal sería el caso de la Nebulosa del Cangrejo.

El satélite Explorer 42 ha permitido obtener los primeros resultados completos del estudio de la Vía Láctea en esta región del espectro electromagnético. La radiación X que proviene de las estrellas, incluyendo nuestro Sol, no pueden ser estudiadas desde los observatorios en la superficie de la Tierra, debido a que la misma es absorbida totalmente por la atmósfera superior del planeta. De allí que los análisis tienen que efectuarse por medio de la utilización de globos estratosféricos y cohetes sondas y recientemente con satélites artificiales, que en el caso del Explorer 42, al cabo de pocos días de enviar información, superó todos los registros obtenidos por los otros medios antes de su ubicación en órbita.

---

El 4 de junio próximo pasado se efectuó una corrección de trayectoria del vehículo espacial Mariner 9, que fuera lanzado el 30 de mayo desde la base de Cabo Kennedy por medio del vector Atlas-Centaur.

En el momento de activarse el ingenio que conforma la sonda espacial, el Mariner 9 se hallaba a 1.340.000 kilómetros de distancia de la Tierra. El impulso obtenido tras 5,11 segundos, dió como resultado que la velocidad de la sonda se viera alterada en 6.731 metros por segundo. Si la corrección no se hubiera realizado, la nave automática hubiera pasado a 25.600 kilómetros de Marte, ma lográndose de este modo su misión. Con la corrección obtenida, la nueva trayectoria de 161 días llevará al Mariner 9 a solo 1.600 kilómetros de distancia de la superficie marciana.

Posteriormente, el 24 de octubre del corriente se efectuará una segunda corrección, siempre que ello fuera necesario. El 13 de noviembre, tras 14 minutos de encendido del motor, la carga útil que transporta cámaras de televisión y sensores diversos (para detectar radiación infrarroja y ultravioleta), se instalará en una órbita marciana de 16.000 kilómetros de mayor alejamiento de la superficie del planeta y de 1.200 kilómetros como punto de menor aproximación.

Se espera que el Mariner 9 obtenga datos de la composición atmosférica y de la superficie de Marte, como así también la obtención de 5.000 a 6.000 fotografías tras 90 días de vida útil de este vehículo. La órbita tendrá una inclinación levemente inferior a los 50° con respecto al ecua-



## TEST DE FUNCIONAMIENTO DEL TELESCOPIO REFLECTOR "URANO 100"

Desde hace aproximadamente dos años "Manufacturas Opticas RUBA" viene fabricando un telescopio reflector de 100 mm de abertura que ha tenido singular aceptación entre quienes lo han adquirido. Nuestra Subcomisión de Taller ha recibido numerosas consultas respecto a este instrumento, por lo que hemos decidido realizar un examen del comportamiento óptico-mecánico del mismo, a los efectos de orientar a los interesados.

El objetivo de 100 mm tallado con una distancia focal de 900 mm es de perfil esférico, ya que la condición de Lord Rayleigh queda satisfecha sin necesidad de parabolizado. Esto se ve corroborado por el hecho de que ya con 120 aumentos se distingue sobre una estrella la mancha de difracción característica de un buen figurado, hecho éste no muy usual en esta clase de instrumentos. El poder separador teórico es del orden de 1,2 segundos de arco y en la práctica hemos podido alcanzar 1,8 segundos de arco sobre la doble Delta 39 Car y es probable que este valor pueda ser superado en condiciones atmosféricas superiores a las de la ciudad.

El espejo plano secundario, controlado por el método interferencial con luz monocromática desarrollado por Fizeau, ha sido montado sobre un soporte doble cuyos efectos de difracción son advertibles sobre estrellas muy brillantes, aunque no molestos sobre objetos débiles. Dos oculares del tipo Ramsden 1-1, armados sobre tambores de 23 mm de diámetro, complementan el aparato; la definición es buena sobre todo el campo, el cromatismo remanente no resulta muy perjudicial y el contraste es bueno considerando que las lentillas no tienen un tratamiento "antirreflejo". Como conjunto el telescopio se ha mostrado sumamente estable, al punto que no requiere prácticamente colimación a través de más de seis meses.

El montaje mecánico es de tipo azimutal y está provisto de movimientos finos accionados por fricción a través de pequeños cilindros de goma, cuyo correcto empleo requiere cierta práctica.

El trípode sobre el que descansa el aparato es aceptable en noches tranquilas, aunque con tendencia a vibrar, efecto que puede ser disminuido colocando pequeños apoyos de goma en los extremos de las patas.

En resumen se trata de un telescopio recomendable para quienes se inician en la observación astronómica y desean poseer un instrumento pequeño y fácilmente transportable.

El telescopio desarmado se acomoda fácilmente en la funda acolchada con que se lo provee; esto hace muy fácil su transporte.

Los aumentos "standard" del telescopio son 60 y 120, correspondientes a los oculares de 14 mm y 7 mm de distancia focal con que viene provisto el instrumento. Eventualmente pueden adquirirse otros dos oculares -que completan la serie que fabrica Manufacturas Opticas RUBA- de 24 mm y 4 mm de distancia focal, los que proporcionan 37 y 225 aumentos respectivamente, este último aplicable sólo en situaciones muy favorables (estabilidad térmica, poca turbulencia, cielo despejado y aire calmado).

En general la construcción es suficientemente sencilla como para evitar complicaciones innecesarias o un mantenimiento excesivo; finalmente, a nuestro parecer, el compromiso entre el precio y el resultado está bien satisfecho.

## SUBCOMISION DE TALLER

### Juan Bautista Berrino - Su fallecimiento

Con sincero pesar debemos hacer saber a nuestros lectores que el día 28 de junio falleció este antiguo asociado, cuyos méritos personales y sus conocimientos lo llevaron a ocupar distintos cargos en la Comisión Directiva y en REVISTA ASTRONOMICA.

En el acto del sepelio nuestro Presidente Ingeniero Héctor Ottonello pronunció un sentido discurso en el que puso de relieve las cualidades del extinto, diciendo entre otras cosas: "El entusiasmo que sintió por la Astronomía lo mantuvo durante toda su vida, y no hace mucho en nuestra Casa, pronunció una conferencia sobre Estrellas Cefeidas, que llamó la atención por el método de la exposición y lo denso de su información."

"Fué en nuestra Asociación en donde ingresó en los primeros años del cuarenta, un gran amigo y eficaz colaborador en su Comisión Directiva y diversas comisiones, entre ellas la dirección de REVISTA ASTRONOMICA, que integró durante varios períodos hasta que su dolencia en la visión le impidió seguir actuando".

"El año pasado los asociados a nuestra entidad le ofrecimos un cordial homenaje al cumplir noventa años de edad en el que se puso de manifiesto la profunda simpatía que supo inspirar a sus amigos y a los que le conocieron en el transcurso de su larga vida".

\* Quienes tuvimos el placer de tratarlo, no olvidaremos sus enseñanzas ni su trato deferente y cordial.

### Ingreso de socios nuevos

Acta N° 3366, Roberto Félix Braceras; 3367, Héctor D. Pajariño; 3368, Rubén A. Mattos Sierra; 3369, Guillermo Ramón Seguí; 3370, Luis Alvarez Díaz; 3371, Marcelo B. Chistik; 3372, Emilio E. Cócara; 3373, José R. Zandarin Pizarro; 3374, Reinaldo Sievers; 3375, María E. Raschella; 3376, Eduardo N. Nosedá; 3377, Juan B. Milanese; 3378, Pedro A. Sinde; 3379, Manuel A. Castrillón; 3380, Ricardo Mogetti; 3381, Marcelo S. de la Fuente; 3382, Mario E. Burstein; 3383, Jorge F. Gadacz; 3384, Emilio Zapata; 3385, Alberto Zapata; 3386, César R. Lico; 3387, Jorge L. Gavo-tti; 3388, Carlos Alberto Lambarri; 3389, Antonio B. Diez; 3390, Perfecto Serto; 3391, Carlos A. Diacono; 3392, Rodolfo Wolluscher; 3393, Franco Felletti; 3394, Omar F. Andrada; 3395, María J. Lemos Moyano; 3396, Leopoldo L. Melo; 3397, Carlos M. González; 3398, Enrique Núñez; 3399, Julio E. Podestá; 3400, Florio G. Dell'Orso; 3401, Lorenzo A. Gigli; 3402, Ubaldo A. Bertran; 3403, Jorge R. Lacobara; 3404, Orlando Bertuccio; 3405, Jorge R. Arga; 3406, Carlos V. Rivero; 3407, Roberto J. Bennasar.

LISTA DE PRECIOS

Telescopio reflector "Urano 100" completo con 1 ocular  $f = 7\text{mm}$  para 120 aumentos y 1 ocular de  $f = 14\text{mm}$  para 60 aumentos, funda, carta celeste e instrucciones:

Con tubo de chapa soldada y pintado al "duco" . . . . . \$ 350,00  
 Con tubo de aluminio sin costura, anodizado, calidad de terminación superior . . . . . " 400,00

Oculares Ramsden:  $f = 4\text{mm}$ , \$ 25,00 -  $f = 7\text{mm}$  \$ 18,00 -  $f = 14\text{mm}$  \$ 18,00 -  $f = 24\text{mm}$  - \$ 25,00.

Espejos astronómicos: Construidos en "Pirex" del espesor adecuado a cada diámetro, parabólicizados, aluminizados y tallados con tolerancia de forma de  $\lambda/20$ . Se cotizan con el espejo plano diagonal apropiado para el sistema newtoniano, aluminizado, tallado con tolerancia  $\lambda/10$ .

Diámetro 10cm \$ 150,00 - 15cm \$ 200,00 - 20cm \$ 300,00 - 25cm \$ 480,00 - 30cm \$ 700,00

Espejos planos diagonales:  $\lambda/10$ , aluminizados.

Diámetro menor 15mm \$ 12,00 - 20mm \$ 18,00 - 25mm \$ 22,00 - 30mm \$ 30,00 - 40mm \$ 50,00 - 50mm \$ 80,00 - 60mm \$ 150,00 - 75mm \$ 200,00

Anteojos buscadores:

6 aumentos,  $6^\circ$  de campo, 20mm, con soporte y sistema de centrado . . \$ 38,00

Catadióptrico 14 aumentos,  $3^\circ$  de campo, 60mm, con soporte y sistema de centrado, óptica acromatizada . . . . . " 96,00

Portaoculares: A rosca paso 3, 18mm listo para colocar oculares de 23mm  $\varnothing$  . . . . . " 15,00

NOTA: Todos los precios son sobre Pesos Ley 18188.

Los precios por espejos parabólicos corresponden a relaciones  $f/D$  alrededor de 6. Para otras relaciones el precio puede tener variaciones en más o en menos. Estos precios son especiales para socios de la Asociación Argentina Amigos de la Astronomía, por lo cual rogamos que en los pedidos se envíe el número de asociado.

Para envíos al interior, por tratarse de instrumentos muy delicados, sugerimos que los interesados en telescopios lleven personalmente su aparato, que está preparado para ello. De otra manera, podemos enviar con un embalaje apropiado en caja de madera conglomerada con un recargo de \$ 25,00.