

Este cielo que ves

La astronomía mexicana del siglo XX tiene dos aspectos básicos: la declinación de la actividad vinculada con la astronomía de posición y el auge explosivo de la astrofísica.

Me concentraré fundamentalmente en el desarrollo de la investigación astronómica. Los aspectos de administración, enseñanza y difusión de la astronomía apenas serán mencionados.

Manuel Peimbert

La astronomía mexicana del siglo XX está caracterizada por dos aspectos fundamentales: la declinación de la actividad relacionada con la astronomía de posición y el desarrollo explosivo de la astrofísica.

INTRODUCCIÓN

En México, la astronomía ha estado presente a lo largo de las diversas etapas de nuestra historia. Alcanzó grandes alturas en las civilizaciones mesoamericanas y se ha mantenido con mayor o menor fortuna a lo largo de la Colonia, del México independiente, de la República Restaurada y del siglo XX que acaba de terminar.

Este breve ensayo está dedicado a la astronomía mexicana del siglo XX y sólo mencionaré algunos antecedentes de la segunda mitad del siglo XIX. Dos excelentes trabajos que también analizan este periodo son los de Bartolucci (2000) y Rodríguez (2000); otros artículos relacionados con la historia de la astronomía de este periodo se pueden encontrar en las compilaciones de Moreno (1986) y de Torres-Peimbert (1998).

Este ensayo consta de seis breves secciones. La primera trata algunos aspectos relacionados con la astronomía de posición en la segunda mitad del siglo XIX. La segunda se refiere al Observatorio de Tacubaya, periodo que va de 1876 a 1954. La tercera revisa el proyecto de la Carta del Cielo (1887-1970). La cuarta trata del nacimiento de la astrofísica en México, que sitúo entre 1942 y 1970 y que se caracteriza por la búsqueda y clasificación de objetos celestes. En la quinta se aborda la consolidación de la astrofísica mexicana, que sitúo entre 1970 y 1990, y que se distingue por la determinación de las condiciones físicas de distintos objetos celestes. Y la última sección se refiere a la etapa actual, de 1990 a la fecha, que se caracteriza por la construcción de modelos evolutivos a partir de observaciones.

Las actividades con las que defino cada una de las secciones mencionadas son los motores fundamentales de cada época, pero no son las únicas, ya que en la actualidad los astrónomos mexicanos seguimos desarrollando la astronomía de posición, seguimos descubriendo nuevos objetos y

seguimos determinando condiciones físicas de objetos celestes; también se debe mencionar que hubo algunos trabajos sobre la construcción de modelos evolutivos, desde finales de los cincuenta.

I. FRANCISCO DÍAZ COVARRUBIAS Y LA ASTRONOMÍA MEXICANA DE 1860 A 1876

La astronomía del siglo XIX estuvo dominada por el interés de determinar con gran precisión la posición de los astros y la medición del tiempo. La relación entre estos temas y la cartografía terrestre es muy cercana, lo cual hizo que algunas de las personas que estudiaban la carrera de ingeniero topógrafo o de ingeniero geógrafo desarrollaran gran interés por la astronomía.

El astrónomo mexicano más destacado del siglo XIX fue sin duda Francisco Díaz Covarrubias (1833-1889), y el punto culminante de la astronomía mexicana del siglo XIX fue la observación del tránsito de Venus por el disco del Sol, en 1874, en Yokohama, Japón.

Díaz Covarrubias estudió en el Colegio de Minería, donde se graduó de ingeniero topógrafo. En 1863 fundó el Observatorio Astronómico en Chapultepec, propiedad del gobierno federal, para establecer la latitud y longitud de la Ciudad de México. Antes de la entrada del ejército francés en la Ciudad de México, Díaz Covarrubias desmontó el observatorio.

A la victoria de la república, Díaz Covarrubias fue nombrado oficial mayor del ministerio de Fomento, puesto que mantuvo hasta 1876. En 1867 reinstaló el Observatorio Astronómico en la azotea del Palacio Nacional. A causa de sus múltiples responsabilidades, el gobierno nombró a Francisco Jiménez director del Observatorio Astronómico.

En 1867, Díaz Covarrubias publicó su libro *Nuevos métodos astronómicos*, y en 1870,

su *Tratado de topografía, geodesia y astronomía*. Además dirigió el levantamiento de la carta geográfica del valle de México y precisó la posición geográfica de la capital de país.

En 1874, con el apoyo del presidente Sebastián Lerdo de Tejada (1823-1889), organizó la expedición mexicana para observar el tránsito de Venus por el disco del Sol, desde Japón. Para lograr este propósito, junto con la delegación mexicana, viajó de México a Nueva York y de allí a Japón, pasando por San Francisco.

La delegación mexicana instaló dos observatorios en las inmediaciones de la ciudad de Yokohama, y observó con éxito el tránsito de Venus por el disco del Sol.

Al terminar su trabajo en Japón, Díaz Covarrubias fue invitado por los astrónomos franceses al Observatorio de París, al cual llegó viajando hacia el oeste por Asia y Europa. En el Observatorio de París se negó a saludar al gran astrónomo Le Verrier, descubridor de Neptuno, porque éste había apoyado la intervención francesa.¹

De las cinco delegaciones que observaron el tránsito de Venus, la primera en publicar sus resultados fue la mexicana, en 1875.² Las delegaciones francesa, inglesa, rusa y estadounidense lo hicieron varios años después.

A su regreso a México, Díaz Covarrubias publicó en 1876 los resultados de la misión mexicana en el libro *Viaje de la comisión astronómica mexicana al Japón para observar el tránsito del planeta Venus por el disco del Sol el 8 de diciembre de 1874*.

A finales de los setenta, Díaz Covarrubias propició la creación del Observatorio Astronómico Nacional (OAN). Además de sus ocupaciones académicas participó también en política. Fue cónsul general de México en París, donde murió en 1889.

II. EL OBSERVATORIO DE TACUBAYA (1876-1954)

Los primeros cuatro directores del Observatorio Astronómico Nacional fueron ingenieros: Ángel Anguiano (1840-1921), de 1876 a 1899; Felipe Valle (?-1910), de 1899 a

¹ A este respecto vale la pena recordar que el general conservador Leonardo Márquez derrotó a los liberales en la batalla de Tacubaya y ordenó fusilar a los enfermeros y médicos tomados prisioneros; uno de los mártires de Tacubaya fue el hermano de Francisco Díaz Covarrubias, Juan Díaz Covarrubias (1837-1859), quien era médico practicante del ejército liberal, además de poeta y novelista.

² Francisco Díaz Covarrubias, *Observaciones del tránsito de Venus hechas en Japón por la comisión astronómica mexicana*, Librería Española de E. Denne' Schmitz, calle de Monsigny 15, París, 1875.

1910; Valentín Gama (1868-1942), de 1910 a 1914, y Joaquín Gallo (1882-1965), de 1914 a 1947.

De 1876 a 1947, las funciones del OAN fueron de dos tipos: las propiamente astronómicas, que estaban fundamentalmente dirigidas al estudio y a la divulgación de la astronomía de posición (incluyendo la observación de asteroides, cometas, planetas y eclipses solares), y a una serie de servicios relacionados con la astronomía y las ciencias de la Tierra, que a través de los años se fueron canalizando a otras instituciones, como la geodesia, la cartografía, el geomagnetismo, la climatología, la sismografía y el servicio de la hora.

A continuación menciono algunas de las efemérides principales asociadas con este periodo.

Ángel Anguiano fue discípulo de Díaz Covarrubias, y en 1876 recibió la encomienda de dirigir el Observatorio Astronómico Nacional, el cual se inauguró en 1878 en el Castillo de Chapultepec. La creación del observatorio fue posible gracias a la insistencia de Vicente Riva Palacio (1832-1896) y Díaz Covarrubias. Los astrónomos convencieron a Porfirio Díaz (1830-1915) de la importancia del proyecto mencionándole que el observatorio permitiría la elaboración de mapas precisos para toda la república, además de atender los aspectos propiamente astronómicos.

En 1881 apareció el primer *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional*, publicación que se ha mantenido sin interrupción hasta la fecha. En 1883, el Observatorio Astronómico Nacional se trasladó al Palacio del ex Arzobispado, en Tacubaya.

En 1887, el Observatorio Astronómico Nacional recibió una invitación del almirante Mouchez (1821-1892), director del Observatorio de París, para participar en el proyecto internacional de la Carta del Cielo. En ese proyecto, al Observatorio de Tacubaya le tocó cubrir la franja comprendida entre las declinaciones -9 y -17 grados, aproximadamente 2 450 grados cuadrados, es decir el 6% del área del cielo. En 1891 se instaló en Tacubaya el telescopio refractor encargado de tomar las placas fotográficas de la Carta del Cielo, instrumento al que también se conoció con ese nombre.

En 1908 se inauguró el nuevo edificio del Observatorio Astronómico Nacional en Tacubaya, y en 1929 se expidió



La creación del Observatorio Astronómico Nacional fue posible gracias a la insistencia de Vicente Riva Palacio y Francisco Díaz Covarrubias

el decreto de autonomía de la Universidad Nacional Autónoma de México, donde se estableció que el Observatorio Astronómico Nacional pasaría a ser parte de esa casa de estudios.

En 1948, Guillermo Haro (1913-1988) fue nombrado director del Observatorio Astronómico Nacional, puesto que mantuvo hasta 1968. En 1951, los telescopios del Observatorio de Tacubaya fueron llevados a un predio contiguo al del Observatorio Astrofísico de Tonantzintla, mudanza que fue necesaria por la contaminación producida por la iluminación artificial de la Ciudad de México. Sin embargo, al trasladar el telescopio refractor encargado del proyecto de la Carta del Cielo de Tacubaya a Tonantzintla, se perdió la posibilidad de tomar placas de segunda época para determinar movimientos propios de alta precisión.

En 1964, México cumplió dos compromisos con el proyecto de la Carta del Cielo: publicar el Catálogo Astrográfico y el mapa del cielo de la zona asignada al Observatorio de Tacubaya

En 1954, el Observatorio Astronómico Nacional abandonó sus oficinas en Tacubaya y se instaló en la recién creada Ciudad Universitaria. Posteriormente, el edificio de Tacubaya fue demolido y el terreno se utilizó para albergar a una de las preparatorias de la UNAM.

En 1964, México cumplió los dos compromisos contraídos con el proyecto de la Carta del Cielo, al terminar de publicar el Catálogo Astrográfico y el mapa del cielo de la zona asignada al Observatorio de Tacubaya.

En 1967 se creó el Instituto de Astronomía de la UNAM, que incluye al Observatorio Astronómico Nacional, y se continuó con los compromisos relacionados con la astronomía de posición, como la elaboración del *Anuario del Observatorio Astronómico Nacional*, que se sigue publicando hasta la fecha, y la atención al público sobre todo tipo de fenómenos astronómicos.

III. LA CARTA DEL CIELO (1887-1970)

Desde 1887 hasta 1947 el proyecto de la Carta del Cielo fue la línea de investigación principal del Observatorio Astronómico Nacional, lo cual me lleva a hacer un paréntesis para discutir en qué consistió este proyecto, cuál fue la participación de México, cuáles fueron los logros y los fracasos del proyecto a nivel mundial y cuáles fueron sus efectos en México.

El programa de la Carta del Cielo tenía dos objetivos fundamentales: hacer un catálogo de todo el cielo que incluyera las magnitudes y las coordenadas de todas las estrellas que brillan por encima de la magnitud 11.5, y hacer un mapa del cielo que incluyera todas las estrellas que brillan por encima de la magnitud 15. Estos objetivos requerían el concurso de observatorios situados en distintas latitudes para observar adecuadamente toda la esfera celeste.

En 1887, 18 observatorios de once países se comprometieron a participar en el programa. También se requería que los telescopios fueran similares, para que cada una de las decenas de miles de placas fotográficas involucradas tuviera las mismas especificaciones. Existe alguna confusión en la literatura de la especialidad acerca del nombre Carta del Cielo, ya que se utilizó para designar cuatro cosas distintas: el programa en su conjunto, el catálogo (que aquí he llamado Catálogo Astrográfico), la carta o mapa de todo el cielo, y cada uno de los telescopios de refracción que se usaron para tomar las placas.

Para coordinar la astronomía mundial, en 1919 se fundó la Unión Astronómica Internacional (UAI), a la que México ingresó en 1920, y el programa de la Carta del Cielo se convirtió en la Comisión 23 de la UAI. La comisión se disolvió en 1970, ya que se había logrado el objetivo primario de publicar el Catálogo Astrográfico para todo el cielo.³

No corrió igual suerte el otro proyecto, pues el mapa del cielo nunca se terminó. Al suspenderse el proyecto se había publicado el 50.4% del mapa, se habían obtenido las placas para otro 27.8% —aunque no se publicaron—, y las placas para el restante 21.8% del cielo nunca se obtuvieron. Se decidió que aquellas investigaciones relacionadas con el proyecto de la Carta del Cielo se integraran a la Comisión 24 de la UAI, encargada de las posiciones, los movimientos propios y las distancias a las estrellas.

La razón por la que se suspendió la publicación del mapa de la Carta del Cielo fue el enorme éxito obtenido por la cámara Schmidt más grande del mundo, la de Monte Palomar, que tiene un espejo de 1.2 metros de diámetro. Con este telescopio se produjeron, entre 1950 y 1958, dos mapas del 70% de la esfera celeste, uno con 936 placas fotográficas sensibles al azul y el otro con 936 placas fotográficas sensibles al rojo. A este proyecto se le llamó *Palomar Sky Survey*, y detectó estrellas hasta de magnitud 21, es decir, permitió detectar objetos 250 veces más débiles que el proyecto de la Carta del Cielo. El área cubierta por una placa de la cámara Schmidt de Palomar es 10 veces mayor que el área cubierta por una placa fotográfica de los refractores que se utilizaron en el programa de la Carta del Cielo.

Los logros principales del programa de la Carta del Cielo fueron los siguientes: **a)** dio inicio a la colaboración a nivel mundial en astronomía y fue precursor de la creación de la Unión Astronómica Internacional; **b)** impulsó el desarrollo de la placa fotográfica con fines astronómicos; **c)** produjo el Catálogo Astrográfico, que incluye 4 621 836 estrellas más brillantes que la magnitud aparente 11.5;⁴ **d)** el Catálogo Astrográfico, junto con los catálogos del satélite *Hipparco*, ha permitido determinar los movimientos propios de casi un mi-

llón de estrellas; **e)** el compromiso internacional de cumplir el programa fue una de las razones que permitió que se mantuviera la actividad astronómica durante muchas décadas en una serie de observatorios.

La desventaja del programa para el Observatorio de Tacubaya, y en mayor o menor medida para los otros observatorios que participaron en el programa, fue que la mayor parte de los escasos recursos disponibles para investigación se destinó a un solo proyecto, dificultando el desarrollo de la

En 1887, 18 observatorios de once países se comprometieron a participar en el programa de la Carta del Cielo

astrofísica, la formación de nuevos investigadores y la modernización de la disciplina.

IV. EL NACIMIENTO DE LA ASTROFÍSICA MEXICANA (1942-1970)

En 1942 se inauguró el Observatorio Astrofísico de Tonantzintla, gracias a los esfuerzos de Luis Enrique Erro (1897-1955), importante político mexicano que participó en la campaña presidencial de Manuel Ávila Camacho. Según ha sido relatado por algunos de los amigos de Erro, Ávila Camacho le preguntó a Erro que cómo lo podía recompensar por el apoyo prestado, a lo que Erro contestó que con la creación de un observatorio profesional. El recién estrenado presidente dio luz verde a la construcción de un observatorio en el estado de Puebla. Un relato amplio sobre la gestación del observatorio puede consultarse en el libro de Bartolucci (2000).

El observatorio se construyó para alojar la cámara Schmidt, que era su telescopio principal. Una cámara Schmidt consta de un espejo esférico, el cual le asocia una

³ El catálogo se completó con el volumen 53 de la región encomendada al observatorio de Sidney, en Australia, el cual se publicó en 1971.

⁴ Las coordenadas de las estrellas del Catálogo Astrográfico fueron recalculadas en 1997 y puestas en el sistema de referencia basado en el satélite artificial *Hipparco* y en el sistema extragaláctico de referencia.

La latitud geográfica del Observatorio de Tonantzintla permite observar todo el plano de la galaxia

superficie focal, en lugar de un punto focal a cada estrella; para reducir esta superficie a un punto, se le agrega una lente correctora que se encarga de “parabolizar” al espejo esférico, produciendo un foco puntual para cada estrella. Adicionalmente, en la entrada del tubo del telescopio se puede colocar un prisma, con lo que en lugar de obtener imágenes puntuales se obtiene el espectro de cada una de las estrellas.

La cámara Schmidt permite obtener rápidamente una imagen del cielo de gran campo (de 5° por 5°, en placas de 20 x 20 cm). Para tener una idea de estas dimensiones, el Sol y la Luna abarcan un diámetro de medio grado en la esfera celeste.

La latitud geográfica del Observatorio de Tonantzintla, 19° norte, permite observar todo el plano de la galaxia, lo cual no era posible desde los observatorios profesionales del hemisferio norte, ya que todos estaban situados en latitudes geográficas al norte del paralelo 31. Esto le daba a la cámara Schmidt de Tonantzintla una franja de más de 12°, que no había sido observada por los poderosos telescopios existentes. Además se podía observar la región alrededor del centro de la galaxia, que se encuentra a una la-

titud de 28° sur, y era por tanto difícil de observar desde los observatorios del hemisferio norte.

De 1942 a 1948, la cámara Schmidt no funcionó adecuadamente, pero a partir de 1948 y principalmente bajo la dirección de Haro se inició una serie de líneas de investigación. Ordenadas más o menos cronológicamente, las más importantes fueron sobre nebulosas planetarias, objetos Herbig-Haro, estrellas T-Tauri, estrellas ráfaga, clasificación

espectral, estrellas azules en la dirección de los polos galácticos, galaxias azules con líneas de emisión y cuasares.

La mayor parte de los resultados principales aparecieron publicados en el *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya* (1952-1973). Algunos de estos temas los he discutido con más detalle en ocasión del simposio en honor de Guillermo Haro sobre objetos Herbig-Haro, estrellas T-Tauri y fenómenos relacionados, que se realizó en la Ciudad de México en 1983 (Peimbert, 1983) y de la tercera conferencia sobre estrellas azules débiles, también en honor de Guillermo Haro, que se realizó en Schenectady, Nueva York, en 1996 (Peimbert, 1997).

El primer artículo que se publicó en el *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*, en 1952, consistió en una lista de 103 nebulosas planetarias descubiertas por Guillermo Haro; la búsqueda fue en la dirección del centro de la galaxia utilizando la cámara Schmidt con su prisma objetivo. Se trata de objetos de transición entre gigantes rojas y enanas blancas. En ese entonces se conocían alrededor de 350, y se creía que la mayoría ya habían sido descubiertas. Posteriormente, en 1960, Peimbert, Bátiz y Costero, a sugerencia de Haro, siguieron esta línea de investigación y descubrieron 24 nebulosas planetarias más. Estos objetos han sido catalogados con los nombres de los astrónomos mexicanos que los encontraron.

Este campo ha sido uno de los favoritos de los astrónomos mexicanos. Cuando menos 50 de los 120 astrónomos que trabajan en México tienen un artículo sobre el tema de nebulosas planetarias, y nuestro país se ha convertido en líder mundial en el estudio de estos objetos.

A finales de los cuarenta y principios de los cincuenta, Haro, auxiliado por Braulio Iriarte (1920-1986), Enrique Chavira (1925-2000), Graciela González y Guillermina González, encontró un número importante de estrellas del tipo T-Tauri, estrellas jóvenes que se están acercando a la

etapa más prolongada de su vida, la secuencia principal. De esos estudios se derivaron otras dos líneas de investigación: el estudio de los objetos Herbig-Haro y el estudio de las estrellas ráfaga, también llamadas UV Ceti.

El interés por el estudio de las estrellas T-Tauri llevó a Haro a descubrir, independientemente de Herbig, los objetos Herbig-Haro, así bautizados por el astrónomo armenio Victor Ambartsumian (1908-1996). Se trata de pequeñas nubes que han sido excitadas colisionalmente por chorros de gas producidos por estrellas en formación. Este tema también se cultiva ampliamente en la actualidad por los astrónomos mexicanos.

Al encontrar que algunas estrellas T-Tauri presentaban variaciones espectaculares en la intensidad de una línea de su espectro de emisión, Haro decidió investigar si existía variación en la luminosidad de estos objetos. Al analizar imágenes múltiples de cada estrella en una misma placa fotográfica, encontró gran número de estrellas que tenían variaciones extremas de luminosidad en cuestión de minutos; la mayoría resultaron ser estrellas ráfaga.

A partir de sus estudios sobre estrellas T-Tauri y estrellas ráfaga, Haro propuso un sistema evolutivo para estrellas jóvenes. De acuerdo con él, se pueden distinguir tres etapas: primero la etapa T-Tauri, después la etapa ráfaga y finalmente la etapa de secuencia principal. Chavira y Luis Rivera Terrazas (1913-1989) colaboraron con Haro al inicio de estos estudios. Luego, en los sesenta, también trabajaron en este campo Arcadio Poveda y Eugenio Mendoza.

En los años cuarenta, Morgan, Keenan y Kellman establecieron una clasificación espectral de las estrellas a partir de líneas muy intensas en absorción, el sistema MKK.

Morgan (1906-1994), famoso astrónomo del Observatorio de Yerkes, en la Universidad de Chicago, sugirió en una visita que realizó a Tonantzintla, a finales de los cuarenta, que se utilizara la cámara Schmidt con su prisma objetivo para buscar estrellas calientes y luminosas en el plano de la galaxia, sobre todo en su parte sur, que es más accesible desde nuestras latitudes que desde los observatorios estadounidenses y europeos situados en el hemisferio norte.

El trabajo fue realizado principalmente por Luis Munch, Graciela González y Guillermina González, quienes publicaron varias listas de estrellas OB que posteriormente fueron observadas con mayor

detalle por medio de telescopios más poderosos; muchas de las placas fotográficas que se utilizaron para este trabajo fueron tomadas por Haro, Rivera Terrazas e Iriarte.

A principios de los cincuenta se creía que la gran mayoría de las estrellas con temperaturas mayores a 11 mil grados, las estrellas azules, se encontraban en el plano de la galaxia, y que en los polos (el halo) la gran mayoría era de color amarillo o rojo. Se conocían únicamente 63 estrellas azules en la dirección de los polos de la galaxia, la mayoría de ellas enanas blancas de muy baja luminosidad y muy cercanas a la vecindad solar.

Haro inventó un método para buscar estrellas azules fuera del plano de la galaxia. El método consistía en tomar tres imágenes ligeramente desplazadas de la misma región del cielo en la misma placa fotográfica de la Schmidt, pero usando tres filtros diferentes: uno azul, otro amarillo y un tercero violeta. Los tiempos de exposición estaban calibrados para que una estrella de 11 mil grados Kelvin produjera tres imágenes iguales; si la estrella era más caliente, las imágenes azul y violeta resultaban más intensas que la amarilla; si la estrella era más fría, ocurría lo opuesto. Iriarte y Chavira emplearon este método en Tonantzintla y tuvieron un éxito extraordinario, ya que encontraron más de dos mil estrellas azules en la dirección de los polos de la galaxia.

El éxito del método condujo a Haro a solicitar tiempo de observación con la cámara

México se ha convertido en líder mundial en el estudio de nebulosas planetarias, campo favorito de 50 de sus 120 astrónomos

Schmidt de Monte Palomar y, junto con Luyten (1899-1994), realizar el trabajo definitivo sobre el tema. Haro y Luyten registraron 8 746 objetos azules en una región de 2 mil grados de extensión en la dirección del polo sur galáctico. La lista fue publicada en 1962 en el *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*. Haro y Luyten concluyeron que la lista incluía diversos tipos de estrellas: enanas blancas, núcleos de nebulosas planetarias, de la rama horizontal, subenanas, de la secuencia principal, y variables de los tipos U Geminorum y Z Camelopardi.

En el mismo material fotográfico de Tonantzintla que se utilizó para buscar estrellas azules, Haro encontró 44 galaxias azules, resultado inesperado, ya que a principios de los cincuenta se pensaba que todas las galaxias lejanas eran de color amarillo o rojo. Con el prisma de Tonantzintla se encontró que estos objetos presentaban líneas de emisión muy intensas. Este resultado fue publicado por Haro en 1956.

En el material obtenido en el Observatorio de Monte de Palomar, Haro encontró alrededor de dos mil galaxias azules. Desafortunadamente, no publicó la lista de estos objetos. Pero esta línea de investigación fue retomada por Markarian y otros astrónomos, quienes publicaron, en los sesenta y los setenta, listas con aproximadamente 1 500 galaxias

Haro inventó un método para buscar estrellas azules. Con éste encontró dos mil galaxias azules en Monte Palomar

azules, que como veremos más adelante han sido muy importantes para la cosmología y para el estudio de la evolución del universo.

Otro resultado importantísimo e inesperado de la lista de objetos azules publicada

por Haro y Luyten es que incluye cuasares. Los cuasares se descubrieron en 1963; son núcleos de galaxias muy luminosas que se encuentran a grandes distancias de nosotros y se alejan con velocidades muy altas, en algunos casos cercanas a la de la luz. Estos objetos tienen apariencia de estrellas y la mayoría son de color azul.

En 1965, Haro le proporcionó al astrónomo estadounidense Allan Sandage cartas de identificación de los objetos azules descubiertos con la Schmidt de Palomar. Sandage, al obtener el espectro de las primeras cinco estrellas azules con el telescopio de 5 m de Monte Palomar encontró que eran cuasares, y de este resultado infirió que la gran mayoría, aproximadamente seis mil, de los objetos azules de la lista de Haro y Luyten debían de ser cuasares, resultado que publicó en 1965 en un extraordinario artículo que impulsó el estudio de los cuasares, pero que estaba equivocado en muchos aspectos. Posteriormente, en 1967, Sandage revisó su resultado y llegó a la conclusión de que la lista de Haro y Luyten incluye nada más cerca de 600 cuasares.

La búsqueda y clasificación de nuevos objetos celestes estuvo orientada por los aspectos cualitativos de la mecánica cuántica y la física atómica. Los aspectos cuantitativos fueron determinantes en la etapa siguiente.

V. CONSOLIDACIÓN DE LA ASTROFÍSICA MEXICANA (1970-1990)

La consolidación de la astrofísica mexicana tiene muchos ingredientes: la generación de una masa crítica de astrónomos, en la que participaron activamente Guillermo Haro, Arcadio Poveda y Paris Pishmish (1911-1999), analizada ampliamente por Bartolucci (2000); el desarrollo de los observatorios en San Pedro Mártir y Cananea; la internacionalización de la astronomía mexicana a partir del establecimiento de relaciones de trabajo con astrónomos de otros países, y la utilización de los mejores instrumentos astronómicos del mundo, como los radiotelescopios de Estados Unidos y Japón, los telescopios ópticos instalados en Chile y los Estados Unidos y dos telescopios en satélites artificiales: el Explorador Internacional Ultravioleta, en los ochenta, y el Telescopio Espacial Hubble, en los noventa y hasta la fecha.

Esta actividad se vio reflejada en la producción de artículos astronómicos de alta calidad que aparecieron en las mejores revistas del mundo: *Astrophysical Journal* (EUA), *Astronomical Journal* (EUA), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society* (Gran Bretaña), *Astronomy and Astrophysics* (Europa). También en 1974 surgió la *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, en parte heredera de la tradición del *Boletín de los Observatorios de Tonantzintla y Tacubaya*, revista de gran calidad y que tiene un componente de artículos extranjeros considerable. En volúmenes especiales ha publicado numerosos artículos acerca de las memorias de los congresos de astronomía que se han realizado en Latinoamérica y de las conferencias mexicano-texas de astronomía.

VI. ETAPA ACTUAL DE LA ASTROFÍSICA MEXICANA (1990-2001)

Los astrónomos mexicanos, como todos los demás del mundo, queremos saber cuál fue el pasado, cuál es el presente y cuál será el futuro del universo y de todos los objetos que lo componen; también queremos saber si nuestro universo es único o si forma parte de un conjunto infinito de universos.⁵

El objetivo central en esta etapa radica en construir modelos evolutivos de todo lo observable y de lo no observable: medio interestelar, nubes moleculares, regiones H II, la etapa de formación estelar (incluyendo discos protoplanetarios y la formación de planetas), nebulosas planetarias, la muerte de las estrellas (incluyendo la formación de enanas blancas, hoyos negros y pulsares o estrellas de neutrones), estrellas múltiples, cúmulos estelares, galaxias (incluyendo nuestra galaxia, núcleos de galaxias activas y cuasares), el universo (incluyendo la formación de hidrógeno, helio, deuterio y litio durante los primeros cuatro minutos después de la gran



La búsqueda y clasificación de nuevos objetos celestes estuvo orientada por los aspectos cualitativos de la mecánica cuántica y la física atómica

⁵ Para tener un panorama general de la actividad de los astrónomos mexicanos, consúltese el libro *Fronteras del universo* (Peimbert, 2000), que pertenece a la colección de divulgación La Ciencia para Todos, núm. 176, del Fondo de Cultura Económica, y que consta de un conjunto de nueve ensayos escritos por investigadores del Instituto de Astronomía de la UNAM.



Los astrónomos mexicanos, como todos los demás del mundo, queremos saber cuál fue el pasado, cuál es el presente y cuál será el futuro del universo

explosión, así como la formación de galaxias mil millones de años después).

Para hacer estos modelos requerimos observaciones de todas las bandas del espectro electromagnético: rayos γ , rayos X, luz ultravioleta, luz visible, luz infrarroja, ondas milimétricas y ondas de radio.

En este momento, México cuenta con 120 doctores en astronomía, quienes se encuentran laborando en las distintas instituciones de educación superior que a continuación menciono:

El Instituto de Astronomía de la UNAM cuenta con tres sedes, situadas en la Ciudad de México, Ensenada, Baja California, y Morelia, Michoacán. También cuenta con dos observatorios, uno en la sierra de San Pedro Mártir, Baja California, y otro en Tonantzintla, Puebla.

El Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, que cuenta con una sede en Tonantzintla y tres observatorios: el Guillermo Haro, en Cananea, el de Tonantzintla y el del Cerro de La Negra, en Puebla.

Además existe un grupo consolidado de astrónomos en la Universidad de Guanajuato, y algunos astrónomos en la Universidad de Guadalajara, la Universidad de Sonora, la Universidad Veracruzana y la Universidad de Monterrey.

Como parte del desarrollo de la astronomía mexicana en el siglo XXI se está trabajando en dos proyectos para instalar telescopios modernos en el territorio nacional, uno de radio y otro óptico-infrarrojo. También existen colaboraciones menores con radiotelescopios y telescopios ópticos, ya construidos o en proceso de construcción, localizados en otros países.

El Gran Telescopio Milimétrico se encuentra en construcción en el Cerro de la Negra, y se espera que entre en operación en el año 2004. México, por medio del gobierno federal, aportará la mitad del costo y la Universidad de Massachusetts aportará la otra mitad.

El Instituto de Astronomía de la UNAM está impulsando y desarrollando, desde principios de los noventa, un proyecto para instalar un telescopio óptico-infrarrojo de nueva tecnología en el Observatorio de San Pedro Mártir. Este observatorio está localizado en uno de los cuatro mejores lugares del mundo para realizar observaciones ópticas e infrarrojas (los otros tres se encuentran en las islas de Hawaii, las islas Canarias y la República de Chile). A la fecha, el Instituto de Astronomía ha obtenido financiamiento para el diseño del proyecto, pero no para su construcción.

BIBLIOGRAFÍA

- Bartolucci, J. (2000), *La modernización de la ciencia en México: El caso de los astrónomos*, México, Plaza y Valdés Editores.
- Débarbat, S., J. A. Eddy, H. K. Eichhorn y A. R. Uppgren (1988), *Mapping the Sky, Past Heritage and Future Directions*, International Astronomical Union, Symposium 133, Dordrecht, Kluwer.
- Díaz Covarrubias, F. (1876), *Viaje de la comisión astronómica mexicana al Japón para observar el tránsito del planeta Venus por el disco del Sol el 8 de diciembre de 1874*. Imprenta Polígota de C. Ramiro y Ponce de León, calle de Santa Clara, esquina, México.
- Moreno, M. A. (1986), *Historia de la astronomía en México* (incluye doce capítulos escritos por: Miguel León-Portilla, Lucrecia Maupomé, Johanna Broda, Stanislaw Iwaniszewsky, Roberto Moreno, David Piñera, Marco Arturo Moreno, Joaquín Gallo Sarlat, Bart J. Bok, Paris Pishmish, Luis F. Rodríguez y Jorge Canto, Manuel Álvarez y Eduardo López), col. La Ciencia para Todos, núm. 4, México, Fondo de Cultura Económica.
- Peimbert, M. (2002), *La mecánica cuántica y la astrofísica mexicana*, en María de la Paz Ramos (coord.), *La mecánica cuántica en México* (en preparación).
- Peimbert, M. (2000), *Fronteras del universo* (incluye nueve capítulos escritos por: Julieta Fierro, Miguel Ángel Herrera, Silvia Torres-Peimbert, Miriam Peña, Luis Felipe Rodríguez, Dany Page, J. Jesús González, Deborah Dultzin y Manuel Peimbert), col. La Ciencia para Todos, núm. 176, México, Fondo de Cultura Económica.
- Peimbert, M. (1997), "The contributions of Guillermo Haro to the study of faint blue objects", en A. G. D. Philip, J. W. Liebert y R. A. Saffer (comps.), *The Third Conference on Faint Blue Stars*, Schnectady, L. Davis Press, p. 347.
- Peimbert, M. (1983), "The Astronomy of Guillermo Haro", en Proceedings of the Symposium on Herbig-Haro Objects, T Tauri Stars and Related Phenomena to Honor Guillermo Haro, *Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica*, vol. 7, p. 15.
- Rodríguez, L. F. (2000), "La astronomía en México. El pasado reciente y los retos del futuro", en A. Menchaca (coord.), *Las ciencias exactas en México*, col. Biblioteca Mexicana, México, Fondo de Cultura Económica, p. 207.
- Torres-Peimbert, S. (1998), *Logros y perspectivas del Instituto de Astronomía de la UNAM* (incluye trece capítulos escri-

El Instituto de Astronomía de la UNAM impulsa y desarrolla, desde principios de los noventa, un proyecto para instalar un telescopio óptico-infrarrojo de nueva tecnología en el Observatorio de San Pedro Mártir

tos por: Manuel Peimbert, Rafael Costero, Luis F. Rodríguez, José Franco, Silvia Torres-Peimbert, Christine Allen, Deborah Dultzin, Irene Cruz González, Salvador Cuevas, Mauricio Tapia, Luis Salas, Élfego Ruiz, Gloria Koenigsberger y Julieta Fierro), México, Universidad Nacional Autónoma de México.

Manuel Peimbert es doctor en astronomía, investigador en el Instituto de Astronomía de la UNAM, profesor de la Facultad de Ciencias de la UNAM y miembro de El Colegio Nacional. Sus aportes fundamentales se han dado en los campos de las condiciones físicas del medio interestelar y la evolución química del universo en su conjunto. Ha sido vicepresidente de la Unión Astronómica Internacional y de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo.