# LA ASTRONOMIA EN MEXICO:
# EL PASADO RECIENTE Y LOS RETOS DEL FUTURO

Luis F. Rodríguez
Instituto de Astronomía, UNAM

"Aquellos que no recuerdan el pasado están condenados a repetirlo"
Jorge Santayana (1863-1952)

## I. ANTECEDENTES

Si bien con altibajos, la astronomía ha estado siempre presente en la vida cultural de los mexicanos. En las épocas prehispánicas, el estudio de los ciclos de los astros era parte importante de la actividad de los sacerdotes, si bien su concepción astrológica (la creencia de que el destino de los hombres está regido por la posición de los astros) difería mucho de lo que hoy llamamos ciencia. Aparece siempre la astronomía prehispánica mezclada íntimamente con la mitología, la religión, la agricultura, la arquitectura y otras actividades.

Durante la Colonia, conspiran para mantener a la astronomía, y en general a las ciencias, en un plano muy secundario tanto el relativo desinterés que por ellas mostraban los conquistadores españoles como el hecho de que, en general, nunca han tratado los colonizadores de dar poder a los colonizados y la ciencia es, como lo hizo notar hace mucho Francis Bacon, poder. A pesar de las condiciones adversas, hubo a través de la Colonia, la Independencia, la Reforma, y la Revolución ilustres mexicanos que realizaron actividades astronómicas, nunca de tiempo completo, sino como otra de sus diversas preocupaciones. Entre estos mexicanos podemos mencionar a Carlos de Sigüenza y Góngora (1645-1700), Francisco Díaz Covarrubias (1833-1889), y Felipe Rivera (1852-1920).

La primera institución fundada en nuestro país para realizar astronomía fué el Observatorio Astronómico Nacional, creado por Decreto Presidencial el 18 de diciembre de 1876 e inaugurado por el Presidente Porfirio Díaz el 5 de mayo de 1878 (como parte de las celebraciones de la batalla de Puebla, ocurrida 16 años atrás). El Observatorio Astronómico Nacional tenía como sus funciones el realizar estudios de la actividad solar, eclipses, asteroides y estrellas, así como hacer observaciones meteorológicas y magnéticas. Tuvo como primera sede la azotea del Castillo de Chapultepec (ver Figura 1) y su primer Director fué el Ingeniero Angel Anguiano (1840-1921)

Pero mientras aquellos pioneros de fin de siglo trataban de equipar al Observatorio con una instrumentación que les permitiese llevar a cabo mediciones astronómicas confiables, en los países de lo que hoy llamamos el Primer Mundo, la astronomía sufría una transformación notable. Una simbiosis entre la astronomía clásica y la física iba a dar a luz a la astrofísica, donde ya no era suficiente hacer sólo mediciones cuidadosas y precisas de las posiciones y el brillo de los astros, sino que tambien se hacía indispensable *interpretar* éstas y otras muchas mediciones; ésto es, entender mediante las leyes de la Física y las Matemáticas, de que estaban compuestos, cómo se habían originado y en que se estaban transformando los cuerpos celestes y que relaciones había entre ellos. Pasarían muchas décadas antes de que el país contara con personas que tuviesen la amplia formación profesional requerida para hacer aportaciones sólidas y significativas a la astronomía del siglo XX.

Si bien nos continuamos refiriendo a nuestra profesión como astronomía, es evidente que la actividad que la mayoría de los astrónomos mexicanos contemporáneos realizan es astrofísica. En la actualidad es prácticamente imposible presentar un resultado astronómico si no va acompañado de al menos un intento de interpretación en base a un modelo físico-matemático.

## II. EL NACIMIENTO DE LA ASTRONOMIA MODERNA EN MEXICO

El nacimiento de la astronomía moderna en nuestro país ocurre durante las décadas de los años cuarentas y cincuentas del siglo XX y gira alrededor de tres personajes: Joaquín Gallo (1882-1965), Luis Enrique Erro (1897-1955), y Guillermo Haro (1913-1988) y del tránsito del poder de uno a otro (ver Figura 2).

Joaquín Gallo era un Ingeniero Geógrafo que ingresó a trabajar desde 1902 al Observatorio Astronómico Nacional, para aquel entonces ubicado en la Villa de Tacubaya a 8 kilómetros del centro de la Ciudad de México y a donde había sido trasladado en 1882. En esa época, los astrónomos de Tacubaya estaban dedicados a obtener las placas fotográficas del proyecto internacional conocido como la Carta del Cielo. En 1887, a petición del Almirante Amédée Mouchez, Director del Observatorio de Paris, se convocó a un congreso mundial de astrónomos para planear un gran proyecto internacional en el que distintos observatorios distribuidos por todo el globo fotografiarían todo el cielo en dos ocasiones. Mediante estas observaciones sería posible, en principio, hacer un catálogo de los brillos y posiciones de los diez millones de estrellas más brillantes del cielo.

El proyecto de "La Carte du Ciel" sonaba como una buena idea y el que el Observatorio de Tacubaya haya quedado entre los 18 observatorios de todo el mundo que participarían en él es un testimonio a la calidad de los astrónomos mexicanos de aquella época. En apariencia, el proyecto era una gran idea porque daría la oportunidad de adquirir nuevos telescopios para fotografiar el cielo y de interactuar con los observatorios europeos más importantes. Pero la realidad resultó ser otra. El proyecto era demasiado ambicioso no sólo para México, sino para varios otros de los países involucrados.

Para participar en la Carta del Cielo el Ingeniero Anguiano consiguió apoyo del Gobierno de Porfirio Díaz para comprar un telescopio tipo ecuatorial fotográfico, que se instaló en Tacubaya en 1890. En retrospectiva, el tipo de telescopio que fué seleccionado por los participantes del Congreso de 1887 contribuyó al eventual fracaso del proyecto. Su campo era de solo 2 grados y ésto hacia que para fotografiar todo el cielo se necesitaran más de 10,000 placas. Para 1909, sólo el Observatorio de Greenwich en Inglaterra había terminado su parte.

El proyecto se concluyó a nivel mundial hasta 1958, cuando las metas iniciales de La Carta del Cielo ya habían sido en buena parte alcanzadas mediante programas de investigación mejor planeados, y cuando la astrometría (la medición de la posición de los astros en el cielo) y la fotometría (la medición de su brillo) comenzaban a perder importancia, al menos con la modesta precisión que se podía obtener dentro del proyecto. Los problemas significativos que se podían atacar con la astrometría y la fotometría de principios de siglo ya no eran explorables con los resultados que el proyecto lentamente producía.

Joaquín Gallo es nombrado como Director del Observatorio Astronómico Nacional en 1910, puesto que conservaría hasta 1946. Le tocan épocas difíciles al Ingeniero. En 1910, la República entra en la convulsiva etapa de la Revolución y el Observatorio se encuentra abrumado por el compromiso de La Carta del Cielo. Gallo tuvo varios importantes logros durante su largo directorado. Mantuvo viva la actividad astronómica en el país, publicando sin falta el Anuario del Observatorio (el cual continúa apareciendo hasta la fecha) y haciendo una importante labor de divulgación hacia el público. Desde 1916, se acostumbraba dedicar una o dos noches a la semana en Tacubaya para la observación de los astros por el público interesado. Muchas personas de edad recuerdan gratamente el haberse impresionado ante los anillos de Saturno o las lunas de Júpiter en estas noches abiertas al público. Gallo tambien coordinó la ayuda que se le brindó a las diversas expediciones internacionales que vinieron a México a observar el eclipse total de Sol del 10 de septiembre de 1923 y le tocó iniciar el llamado Servicio de la Hora, mediante el cual se daba la hora telefónicamente a los interesados. Organizó y supervisó la transición mediante la cual en 1929, el Observatorio Astronómico Nacional pasó a formar parte, como todavía lo hace, de la Universidad Nacional Autónoma de México, la cual había obtenido su autonomía (la capacidad de nombrar internamente al Rector y no por "dedazo" presidencial, como anteriormente ocurría) ese mismo año. En ese mismo año, 1929, Edwin Hubble publicaba su descubrimiento de la expansión del Universo, quizá el suceso astronómico más importante de nuestro siglo. Mientras los estadunidenses comenzaban a consolidar su papel eminente a nivel mundial en la astrofísica contemporánea, la astronomía mexicana languidecía entre los problemas de la posrevolución, el compromiso de terminar La Carta del Cielo, la falta de un apoyo continuado de parte del Gobierno, y la carencia de personal con una formación moderna.

Junto con sus virtudes de austeridad, honradez, y persistencia, Gallo tenía la desventaja de ser un astrónomo demasiado conservador. Su estilo y enfoque era ya anticuado, similar al de los astrónomos europeos del siglo XIX, más preocupados por hacer arduamente una buena medición que por entender lo que ésta significaba. De acuerdo a cartas de Luis Enrique Erro, el hombre que lo vendría a reemplazar como figura protagónica de la astronomía mexicana, Gallo estaba "... convencido de que la astrofísica era una locura temporal en la astronomía, ... pero que con el tiempo su importancia disminuiría, y la astronomía recobraría su cordura y regresaría al trabajo astrométrico riguroso."

Luis Enrique Erro, por su parte, era un político y diplomático mexicano de considerable proyección y relevancia que al mismo tiempo era un entusiasta observador aficionado de las estrellas variables. Formaba parte de la American Association of Variable Star Observers (Asociación Americana de Observadores de Estrellas Variables) y a Gallo, quien contaba con una formación profesional en la ingeniería, le ha de haber parecido un impostor. Durante sus estancias en el extranjero, Erro, si bien no contaba con la formación profesional para hacer investigaciones astrofísicas, si se pudo percatar de los cambios que estaban ocurriendo a nivel internacional en la astronomía.

Durante la década de los treintas fué fraguando un plan mediante el cual llevaría la astrofísica moderna a México. Después de todo, formaba parte de la generación de los "cachorros" de la Revolución, la cual buscaba modernizar al país. Más que tratar de cambiar al Observatorio de Tacubaya desde adentro, utilizaría sus considerables influencias políticas para la creación de un nuevo Observatorio. Finalmente en 1940, bajo la presidencia de Manuel Avila Camacho y a través de la Secretaría de Educación Pública, el Gobierno decidió el establecimiento de un nuevo observatorio astrofísico. Tacubaya continuaría proporcionando el servicio del tiempo, el anuario, la Carta del Cielo, y sus otras actividades, mientras que la nueva institución se enfocaría totalmente a la investigación astrofísica. Aconsejado por su conocido Harlow Shapley, Director del Observatorio de Harvard y personalidad clave de la astronomía de aquella época, Erro decidió adquirir como telescopio mayor para el observatorio un instrumento tipo cámara Schmidt (ver Figura 3). Este tipo de telescopio tiene como principal característica la de poder fotografiar en cada placa regiones del cielo bastante grandes, proporcionando en cada placa una gran cantidad de información.

Pero faltaba decidir el sitio donde se ubicaría el nuevo Observatorio. Muy a la mexicana, el Presidente Manuel Avila Camacho insistió en que quedase en su estado natal y así, sin "perder" tiempo en exhaustivos y molestos estudios que buscasen el mejor sitio en la República, el Observatorio quedó en el pueblito de Tonantzintla, Puebla. Aprovechando las buenas relaciones que había entre México y los Estados Unidos debido a la Segunda Guerra Mundial, entre Erro y Shapley lograron que la poderosa cámara Schmidt fuera construída en los talleres de Harvard. Los estadunidenses estaban muy conscientes de su larga frontera con México y no querían que en caso de ellos involucrarse en el conflicto, como finalmente sucedería, tuviesen al sur un país que pudiera resonar con el Eje.

Así como Gallo tuvo sus virtudes y sus defectos, Erro el visionario carecía de los conocimientos astronómicos para aprovechar los instrumentos del nuevo Observatorio y al parecer sus relaciones con el personal de Tonantzintla dejaban mucho que desear. Hacia falta otro personaje, de características distintas, para darle continuidad y culminación a su proyecto.

Guillermo Haro fué, sin duda, el iniciador de la astronomía moderna en nuestro país y el primer astrónomo mexicano con indiscutible presencia y reconocimiento internacional. Realizó varios descubrimientos fundamentales durante la década de los años cincuentas que colocaron a México entre las naciones más importantes en el ámbito astronómico internacional. Recibió innumerables distinciones nacionales e internacionales; entre ellas destaca la Medalla Lomonosov de la Academia de Ciencias de lo que fué la URSS, cuyos ganadores eran frecuentemente premios Nobel.

En 1942, Haro era un astrónomo aficionado que se acababa de graduar en la Facultad de Filosofía y Letras de la Universidad Nacional Autónoma de México y que ocasionalmente trabajaba de periodista para el periódico Excélsior. En su afán de tener personal mexicano bien formado que pudiese aprovechar los telescopios del Observatorio de Tonantzintla, Erro mandó a Haro becado a Harvard en 1943, para que aprendiese diversas técnicas observacionales y se rozara con los grandes astrónomos del sitio. Si bien carecía de una educación formal físico-matemática, de 1943 a 1947 Haro estuvo trabajando en Harvard y otros observatorios estadunidenses y para una persona de su inteligencia y sagacidad, ésto fué suficiente para que absorbiera la esencia de muchos de los problemas astronómicos de la época, así como las técnicas observacionales necesarias para estudiarlos. Adicionalmente, Haro tenía una sólida formación epistemológica y entendía bien que es la ciencia y que su objetivo principal es generar nuevo conocimiento. Poseía una capacidad de trabajo extraordinaria y en lugar de temerle a la competencia, parecía disfrutar de ella, fuera quien fuera el competidor. Haro era además obsesivamente crítico y escéptico, como son muchos grandes científicos, y ésto lo llevó a dudar de conceptos establecidos y en ciertos casos a demostrar que estaban equivocados. ¿Qué no hay objetos azules en el halo de la Galaxia? Haro se puso a buscarlos hasta que los encontró.

En el marco de la ciencia mexicana, el trabajo de Haro puede considerarse realmente extraordinario por la combinación de dos de sus características: 1) era investigación observacional (lo que los científicos no astrónomos llamarían investigación experimental), o sea, tenía que ver con la obtención de datos, la materia prima sobre la cual se construye la ciencia, y 2) fué realizado casi totalmente en México. El autor de este artículo no recuerda que haya habido en las ciencias físicas experimentales de nuestro país otro caso de similar éxito hecho bajo estas condiciones. Ha habido trabajos teóricos importantes hechos por mexicanos y trabajos experimentales importantes hechos por mexicanos utilizando telescopios, instrumentos, o laboratorios en el extranjero, pero no trabajos experimentales hechos en nuestro país que hayan alcanzado comparable relevancia al trabajo de Haro. Y es que si bien el trabajo teórico de excelencia requiere de preparación y brillantez, el trabajo experimental de excelencia requiere, además, de instrumentos, telescopios, microscopios, aceleradores, computadoras, etc., etc., que generalmente son muy costosos y difíciles de mantener y operar en un país como el nuestro.

Simultáneamente a su labor científica, Haro asciende en la escalera del poder. Después de muchas fricciones con Erro, renuncia en 1948 a su puesto en el Observatorio de Tonantzintla y se prepara para buscar trabajo en el extranjero, pero antes de que abandone el país, el Doctor Salvador Zubirán, Rector de la Universidad Nacional Autónoma de México, le ofrece la dirección del Observatorio de Tacubaya, la cual acepta a cambio de la promesa de recibir apoyo para actualizar el sitio. El prometido apoyo no se concreta, pero mientras tanto, Haro se reconcilia con Erro y comienza a distribuir su tiempo entre Tacubaya y Tonantzintla. En 1950, es nombrado tambien Director del Observatorio Astrofísico de Tonantzintla, quedando como cabeza indiscutible de la astronomía mexicana de aquel momento.

Los descubrimientos científicos en los que estuvo involucrado Haro ocurrieron en general con una celeridad y oportunidad admirables, en gran contraste con la tortuosa historia del proyecto de la Carta del Cielo y de muchos proyectos experimentales que han tratado de hacerse en México. La misma adquisición y puesta a punto de la Cámara Schmidt adquirida por Erro, su predecesor en la Dirección del Observatorio de Tonantzintla, tuvó estas características positivas. El diseño de la Cámara Schmidt fué publicado por el alemán Bernhard Schmidt en 1931 y en tan sólo una década México contaba con la más grande del mundo (la traducción del artículo de Schmidt al inglés no apareció sino hasta 1946). Esta oportunidad contrasta con la situación normal en nuestros países: para cuando conseguimos el instrumento deseado, ya está semi-obsoleto. Obviamente, el contar con el interés de una persona de las características y el poder de Erro fué crucial.

El período dorado de Haro como investigador fué muy intenso pero también muy breve. Sus artículos más importantes fueron publicados entre 1952 y 1959. Después, la administración y la creación de nuevas instituciones le fué absorbiendo más y más. Fué, entre otras muchas cosas, miembro fundador de lo que hoy es la Academia Mexicana de Ciencias y del Colegio Nacional. Además, la carencia de una preparación formal también contribuyó a alejarlo prematuramente de la investigación. La década de los sesentas trajo el descubrimiento de los cuasares, los pulsares, los máseres cósmicos, y muchos otros fenómenos que no era posible comprender e investigar sin una base físico-matemática sólida. Es de hacer notar que la capacidad autocrítica de Haro lo llevó a reconocer la necesidad de dicha formación (de la que él, como hemos dicho anteriormente, carecía) y por lo tanto insistía en que las generaciones jóvenes se formasen en los mejores sitios y con gran rigor, una tradición que él ayudó a establecer y mantener.

En su magnífico artículo, Peimbert (1983) ha discutido los distintos campos en los que Haro hizo aportaciones: objetos Herbig-Haro, estrellas ráfaga, nebulosas planetarias, objetos azules débiles, y galaxias azules. Para darle al lector una idea de estas aportaciones, discutiremos la que a la larga resultó más significativa en nuestra opinión; los llamados objetos Herbig-Haro.

En la actualidad la mayoría de las aportaciones científicas importantes se gestan y ocurren en períodos relativamente cortos, que van de 5 a 10 años. La ciencia de alto nivel es muy competitiva y los intervalos de tiempo con que se cuenta para hacer las cosas son breves. Si bien hay contribuciones que parecen salir de la nada y en las que se podría esperar otros diez o veinte años sin que a nadie se le ocurriese hacerlas, generalmente hay un "clima" en el que dos o más grupos de investigadores están detrás del mismo objetivo o bien tienen programas de trabajo que los van a llevar a hacer el mismo descubrimiento con poco tiempo de diferencia. Es pues necesario ser rápido, y afortunadamente Haro lo era.

Haro protagonizó una de estas situaciones de descubrimiento simultáneo en el caso de las nebulosas que luego se llamarían objetos Herbig-Haro (ver Figura 4). Descubiertas independientemente por Haro y por el destacado astrofísico estadunidense George Herbig, Haro hizo el descubrimiento primero (en 1950), pero Herbig publicó primero (en 1951, mientras que Haro lo hizo hasta 1952). Afortunadamente para Haro, él había descrito en 1950 (antes de la publicación de Herbig) las nuevas nebulosas en cartas personales a los astrónomos Harlow Shapley y Rudolph Minkowski, dos de las figuras centrales de la astronomía de aquella época. En su artículo de 1952, Haro se aseguró de mencionar las cartas a Shapley y Minkowski. Para conciliar la disputa, el astrofísico soviético Viktor Ambarsumian propuso que se llamasen objetos Haro-Herbig. Nuestros vecinos del Norte aceptaron la propuesta, sólo que invirtiendo el orden de los nombres y las nuevas nebulosas quedaron como objetos Herbig-Haro. Las astronomías mexicana y estadunidense han continuado a través de los años el estudio de estos objetos y no sería sino hasta la década de los ochentas en que las aportaciones de astrónomos de todo el mundo, pero principalmente de México y EUA, aclararían la naturaleza de los objetos Herbig-Haro.

Durante buena parte de su carrera, Haro se apoyó en las placas tomadas para él por dos confiables observadores: Braulio Iriarte y Enrique Chavira.

En 1967 se crea dentro de la Universidad Nacional Autónoma de México al Instituto de Astronomía, siendo Haro su primer Director, y al año siguiente, en 1968, deja de ser Director del Observatorio Astronómico Nacional y del Instituto de Astronomía de la UNAM y en cierto modo concluye la época de los caudillos en la astronomía mexicana. El número de astrónomos comienza a crecer y ya resulta imposible para una sola persona el comprender y dar cauce a las aspiraciones de las nuevas generaciones. Comienza a ocurrir una transición hacia una astronomía en la que se busca consolidar a las instituciones y ya no centrarse en los individuos, por notables y destacados que éstos fuesen.

## III. LA TRANSICION A LA INSTITUCIONALIDAD

El Dr. Arcadio Poveda sucede en 1968 a Guillermo Haro en la dirección del Instituto de Astronomía de la UNAM y del Observatorio Astronómico Nacional. Es el primer Director, de hecho el primer astrónomo mexicano que desarrolla su carrera en México (si bien realizó sus estudios de Doctorado en los EUA), que cuenta con una formación real y rigurosa en astronomía. Aun cuando de orientación teórica, le toca desarrollar y supervisar la construcción del nuevo Observatorio Nacional, en la Sierra de San Pedro Mártir, en Baja California. Ya era claro desde principios de los años sesentas que el Observatorio de Tonantzintla, por su proximidad a la creciente ciudad de Puebla, había perdido su cielo oscuro. Las luces de una ciudad se reflejan en la atmósfera e imposibilitan la observación de objetos celestes, particularmente de los que son débiles. Es por ésto que el Observatorio Nacional ha peregrinado de Tacubaya a Tonantzintla, y de ahí a San Pedro Mártir. De hecho, fué el mismo Haro el que inició la búsqueda del nuevo sitio y el proyecto del Observatorio que tocaría a la administración de Poveda concluir.

Si bien anteriormente a Poveda, el mexicano Guido Münch logra doctorarse brillantemente en la Universidad de Chicago, a su regreso a México encuentra que las condiciones no eran satisfactorias y pronto se regresa a los Estados Unidos donde desarrollaría una extraordinaria carrera, por desgracia desvinculada de su tierra natal.

Aún cuando muchos científicos mexicanos tuvieron contacto con la astronomía o inclusive se iniciaron en la ciencia por un interés astronómico (Carlos Graeff-Fernández, Félix Recillas, Luis Rivera Terrazas, y Fernando Alba entre otros), finalmente seguirían distinguidas carreras como físicos y matemáticos o bien se sumergirían en el hoyo negro de la ciencia mexicana: el trabajo académico-administrativo. Para fines de los sesentas, los astrónomos activos de alto nivel en nuestro país son sólo seis: Haro y Poveda, de quienes ya hemos hablado, más la Dra. Paris Pishmish, el Dr. Eugenio Mendoza, el Dr. Manuel Peimbert, y la Dra. Silvia Torres-Peimbert. La investigación que se realiza es, con la excepción de Poveda quien es teórico, observacional en las partes óptica e infrarroja del espectro electromagnético.

La Dra. Paris Pishmish, de origen turco, juega un papel preponderante en la vida del Instituto de Astronomía tanto por su notable profesionalismo como por su insistencia en la importancia de la docencia de la astronomía (que por entonces se realizaba únicamente ofreciendo cursos dentro de la licenciatura de Física de la Facultad de Ciencias de la UNAM). La Dra. Pishmish combina su labor de investigación con la impartición de cursos de astronomía y la mayoría de los astrónomos mexicanos contemporáneos fueron en un momento u otro sus alumnos.

El Dr. Eugenio Mendoza se doctora en la Universidad de Chicago e interacciona con Harold Johnson, un importante astrónomo estadunidense pionero de la astronomía infrarroja, quien pasaría los últimos años de su vida en el Instituto de Astronomía de la UNAM. En 1968 logra un resultado observacional comparable en importancia con los obtenidos por Haro 15 años atrás. Inspirado por predicciones teóricas hechas un par de años antes por Poveda, Mendoza descubre que las estrellas jóvenes tienen fuerte emisión infrarroja, en exceso de lo que se esperaría si emitieran más o menos como un cuerpo negro, como pasa con el Sol y en general con las estrellas ya en su vida madura. Esta emisión infrarroja excesiva, se cree ahora, proviene de discos protoplanetarios (llamados así porque de ellos se condensarán planetas en el futuro) alrededor de las estrellas jóvenes. Este importante descubrimiento mantenía la impronta mexicana en el campo de la formación estelar, el cual estudia el proceso del nacimiento de las estrellas y sus primeras etapas de vida.

Los más jóvenes del selecto grupo son el matrimonio formado por los Dres. Manuel Peimbert y Silvia Torres-Peimbert, ambos doctorados en la Universidad de California en Berkeley. Pronto sus estudios de nebulosas planetarias (otro campo iniciado en México por Haro) y de las abundancias químicas de nebulosas gaseosas se convierten en la referencia obligada para investigadores de todo el mundo. El Dr. Peimbert es el astrónomo mexicano más citado a nivel mundial. La Dra. Torres-Peimbert desarrolla, además de su importante investigación, una gran labor institucional encargándose del programa de Maestría y Doctorado en Astronomía del Instituto de Astronomía de la UNAM y editando, junto con la Dra. Pishmish, la Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica. Esta Revista es en la actualidad la de revista científica mexicana de mayor impacto a nivel internacional y ocupa un lugar muy aceptable entre las revistas astronómicas del mundo.

Es interesante mencionar que este grupo pionero está dominado por astrónomos observadores (o sea investigadores que obtienen datos en el telescopio), siendo Poveda el único teórico. Esta situación contrasta con los grupos pioneros de la Física en México que con contadas excepciones estaban dominados por teóricos. Con el paso del tiempo, la astronomía mexicana lograría un mejor balance entre astrónomos teóricos y astrónomos observacionales, de igual manera que la física mexicana se enriquecería en el futuro con la presencia de físicos experimentales.

Los principales retos que la astronomía mexicana enfrentaba alrededor de 1970 eran el continuar enviando a sitios de excelencia en el extranjero a jóvenes que a su regreso renovaran y ampliaran la planta académica, y el desarrollo y consolidación del nuevo Observatorio en San Pedro Mártir.

Vistos casi 30 años después, estos dos retos han sido resueltos de manera que podemos considerar satisfactoria, sobre todo cuando consideramos las variables condiciones de apoyo en las que se desarrolla esta montaña rusa que es la ciencia mexicana. Pero como ocurre en la ciencia misma, al ir resolviendo estos problemas surgieron otros.

## IV. LAS TRES ULTIMAS DECADAS Y LOS RETOS DEL FUTURO

En esta sección haremos una descripción, en buena parte estadística, de la manera en que la astronomía mexicana se fué desarrollando en las últimas tres décadas. Para ésto, discutiremos separadamente los acontecimientos que consideramos como principales: 1) El crecimiento de la planta académica, 2) la construcción y consolidación de los observatorios, 3) la apertura de la astronomía mexicana a las astronomías que se realizan en ondas "no visibles", 4) la formación de grupos teóricos, 5) la diseminación de la investigación astronómica a la provincia mexicana, y 6) el mantenimiento de la calidad y relevancia de la astronomía mexicana en el contexto internacional. Además de presentar estos sucesos, discutimos los retos y problemas que plantean a futuro.

### IVa. El crecimiento de la planta académica

Para principios de la década de los años sesentas, México sólo contaba con una media docena de astrónomos profesionales, todos ellos formando parte del Observatorio Astronómico Nacional de la UNAM. En 1967 se crea en Instituto de Astronomía de la UNAM, el cual absorbe al Observatorio Astronómico Nacional. El crecimiento durante las dos décadas siguientes sería en base a astrónomos mexicanos doctorados en el extranjero que se reincorporaban al Instituto de Astronomía de la UNAM despues de una estancia de varios años fuera del país. En la Figura 5 mostramos como ha crecido el número de astrónomos profesionales en México a través de los años. En la última década han aparecido importantes nuevas tendencias que influyen en el crecimiento de la planta de astrónomos de nuestro país. Primero, dos instituciones fuera de la UNAM se han convertido en importantes contratantes de astrónomos. El Instituto de Astrofísica, Optica y Electrónica, fundado en 1971 por Guillermo Haro y ubicado en Tonantzintla, Puebla, cuenta en este momento (1997) con alrededor de 25 astrónomos. Por su parte, el Departamento de Astronomía de la Universidad Autónoma de Guanajuato es la tercera institución astronómica en número en nuestro país, con un total de 9 astrónomos. Sin embargo, el Instituto de Astronomía de la UNAM, con 79 astrónomos y sedes en el Distrito Federal, Ensenada, y Morelia, continúa siendo por mucho la institución más importante. De cualquier manera, comienza a haber astronomía en otras instituciones afuera de la UNAM. Además de los grupos en la UNAM, el INAOE, y la Universidad Autónoma de Guanajuato, existen grupos pequeños o individuos aislados que investigan en astronomía en varias instituciones en el país.

Otra tendencia importante de los últimos años ha sido el aprovechar que a nivel mundial existe relativamente poca demanda de astrónomos, para contratar a extranjeros de buen nivel, tanto en plazas postdoctorales (contratación temporal por algunos años), como con la posibilidad de obtener una plaza definitiva después de varios años. Desde luego, es obvio que una institución académica en un país como México no debe basar mayoritariamente su crecimiento en contrataciones de personal extranjero. Sin embargo, existe concenso entre los astrónomos mexicanos en el sentido de que aquellos individuos que muestren calidad académica y una sólida integración a la institución y al país (mediante aspectos como el conocimiento del idioma, la formación de nuevos recursos humanos, la colaboración con otros colegas, la realización de labores de docencia y divulgación, la disponibilidad a realizar labores académico-administrativas, etc.) sean retenidos.

Finalmente, con el inicio de los programas nacionales de posgrado en astronomía, primero en el Instituto de Astronomía de la UNAM y posteriormente en el INAOE, comienza el sistema a contratar a los primeros astrónomos formados mayoritariamente en México. Anteriormente, casi todos los astrónomos trabajando en México se habían formado en el extranjero, principalmente en los EUA y Europa. Para garantizar el que estos astrónomos jóvenes cuenten con roce internacional, se les manda a pasar estancias postdoctorales a lugares de prestigio en el extranjero.

Si bien el que contemos en la actualidad con alrededor de 100 astrónomos profesionales en México es positivo, este número dista mucho de compararse con los números que se manejan en el Primer Mundo. En México contamos aproximadamente con un astrónomo por cada millón de habitantes; los EUA y los países europeos más desarrollados cuentan con alrededor de 20 astrónomos por millón de habitantes. Aún tomando en cuenta nuestra condición tercermundista, el número de astrónomos en México debería de ser al menos varias veces mayor del que es en la actualidad. Las áreas que se estudian en México son el medio interestelar, las astronomías estelar, galáctica, y extragaláctica, así como la cosmología y la instrumentación astronómica. A estas actividades de investigación hay que añadir las labores de docencia y divulgación que realizan los astrónomos mexicanos.

En este aspecto, el problema ha sido el continuar creciendo sin perder la calidad que ha caracterizado a la astronomía mexicana. Las estancias postdoctorales en el extranjero y una autocrítica constructiva son dos de los elementos claves para mantener alto el nivel de la astronomía mexicana.

### IVb. La construcción y consolidación de los observatorios

Para el astrónomo observacional la existencia de observatorios es evidentemente crucial. Después del gran éxito de la Cámara Schmidt en la década de los años cincuentas, se decide la construcción de un reflector con espejo principal de un metro de diámetro, el cual se instala en los años sesentas en Tonantzintla, Puebla. Este instrumento, por desgracia, nunca concreta descubrimientos y aportaciones comparables a los logrados en la Cámara Schmidt por Guillermo Haro. A producir esta situación conspiran al menos tres factores. En primer lugar, aún en el momento de su instalación, el telescopio de un metro es ya pequeño y resulta difícil competir cuando se captan tan pocos fotones, cuando se tiene tan poca sensitividad. En segundo lugar, la cercanía de la ciudad de Puebla, con sus luces nocturnas, deteriora poco a poco la oscuridad del cielo, condición indispensable para estudiar objetos débiles (generalmente los menos entendidos y en cierto modo los más interesantes). Finalmente, no existe en ese momento un astrónomo observacional joven del empuje de Haro. Estas circunstancias llevan a la UNAM a plantearse la construcción de un nuevo observatorio, donde con un cielo oscuro y telescopios de mayor diámetro, pudieran realizarse observaciones de mayor relevancia. La búsqueda lleva a seleccionar la Sierra de San Pedro Mártir, en Baja California, como el sitio más adecuado en el territorio nacional.

En el Observatorio Astronómico Nacional de San Pedro Mártir se instalan durante la década de los setentas tres telescopios, de los cuales el de espejo de 2.1 metros de diámetro es el de mayores posibilidades. Sin embargo, la competencia astrónomica se ha vuelto feroz, un asunto de orgullo nacional. Aún la hegemonía estadunidense comienza a verse amenazada cuando varios países europeos se unen en un consorcio, el Observatorio Austral Europeo (European Southern Observatory o ESO), para competir con los EUA en el campo astronómico. Se comienzan a proyectar telescopios de gran diámetro que dejarán atrás aún al gran telescopio Hale en Monte Palomar, que con su espejo de 5 metros de diámetro dominaba desde fines de los años cuarentas la observación de los remotos cuerpos extragalácticos.

Durante la dirección del Dr. Arcadio Poveda (1968-1980) se lleva a cabo la construcción del telescopio de 2.1 metros de diámetro. En la primera mitad de la década de los ochentas, bajo la Jefatura del Dr. Miguel Roth, el Observatorio Astronómico Nacional comienza a consolidar su operación. En un afán de construirlo lo mas económicamente posible, el nuevo telescopio resulta con diversos problemas que es necesario componer con el tiempo. Aún cuando el 2.1 metros de San Pedro Mártir no logra igualar los extraordinarios logros de la Cámara Schmidt, sí se convierte en el caballito de batalla de la astronomía observacional mexicana. Estadísticas realizadas por Mauricio Tapia muestran que en la década comprendida entre 1987 y 1996 los tres telescopios de San Pedro Mártir producen 156 artículos en revistas arbitradas de circulación internacional. Esta productividad se puede considerar muy buena, sobre todo en el marco de las ciencias físico-matemáticas nacionales.

Con el paso del tiempo, se hace aún más urgente la construcción de un nuevo telescopio de mayor diámetro. En la actualidad hay más de 40 telescopios en el mundo con diámetros mayores a 2.1 metros, los mas grandes son los dos telescopios Keck ubicados en Mauna Kea, Hawaii, cada uno con diámetro de 10 metros. Como la cantidad de fotones captados por unidad de tiempo va como el área del telescopio, un telescopio Keck capta por unidad de tiempo unas 20 veces más fotones que los que capta el 2.1 metros de San Pedro Mártir. Para cerrar la brecha, miembros del personal del Instituto de Astronomía de la UNAM han iniciado el proyecto TIM (Telescopio Infrarrojo Mexicano) para lograr la construcción de un telescopio de gran diámetro para los astrónomos mexicanos del siglo XXI.

Por su parte, el INAOE cuenta con un telescopio tambien de 2.1 metros, ubicado en Cananea, Sonora. Sin embargo, su gran proyecto instrumental es el llamado Gran Telescopio Milimétrico. Este radiotelescopio, si llega a construirse, tendrá un diámetro de 50 metros y funcionará detectando las ondas milimétricas. Se ha propuesto como sitio para su ubicación el Cerro de La Negra, en Puebla, dada la promesa del Gobierno de este estado de apoyar con la infraestructura del proyecto.

El Gran Telescopio Milimétrico se realiza en colaboración con la Universidad de Massachusetts, EUA, donde se le conoce como el LMT (Large Millimeter Telescope). El costo total del proyecto es de aproximadamente 40 millones de dólares y el CONACyT ha apoyado al INAOE otorgándole 18 millones de dólares. Obviamente, el CONACyT tiene gran confianza en los centros de su propio sistema (el sistema SEP-CONACyT), porque el apoyo se otorgó cuando el INAOE no contaba con radioastrónomos capacitados para llevar a cabo el proyecto. Esta deficiencia se ha ido aliviando con la contratación de este tipo de personal. La decisión de construir un gran radiotelescopio podría parecer poco acertada cuando en el resto del mundo se favorece a los arreglos interferométricos (conjuntos de radiotelescopios de diámetros relativamente modestos que se distribuyen en un llano), que poseen resolución angular muy superior a la de un sólo radiotelescopio, pero debe de tomarse en cuenta que la operación de un radiotelescopio es de menor complejidad y ésto aumenta la posibilidad de que el instrumento funcione adecuadamente.

En este renglón el reto que se plantea a futuro es el proporcionar a los astrónomos observacionales mexicanos acceso a telescopios de gran poder con los que puedan trabajar. Uno de los puntos cruciales a discutir es si México debe participar en la construcción de un gran telescopio internacional, aún si éste no acaba ubicado en México. Algunos de los astrónomos mexicanos consideran inaceptable que México participe en un gran proyecto, a menos que vaya a quedar en territorio mexicano. En el caso del TIM, el gran proyecto del Instituto de Astronomía de la UNAM, esta restricción ha hecho muy difícil el buscar un socio internacional que proporcione fondos concurrentes al proyecto, condición que solicita el CONACyT para apoyar los proyectos. Existen ya en el mundo muchos grandes telescopios para la astronomía óptica y ha sido muy trabajoso buscar al socio requerido. El cielo que se ve desde México no es muy diferente del que se ve desde el suroeste estadunidense, a diferencia de los países de la América del Sur, que sí ven un cielo diferente. Por su cuenta, el proyecto del INAOE con la Universidad de Massachusetts contó con la ventaja de que quedará en México, relegándose a segundo plano la cuestión de su verdadera proyección científica. Es necesario buscar el punto óptimo entre el deseo de que el instrumento quede en México y la calidad científica del mismo y ésto no se ha alcanzado en la astronomía mexicana.

Es necesario apuntar que la astronomía es cada vez más internacional. Aún los poderosos EUA tienen en la actualidad como condición de su Congreso el buscar para sus grandes proyectos socios internacionales que aporten recursos tanto económicos como humanos. México tiene que considerar seriamente esta nueva tendencia de la astronomía mundial. Después de todo, no parece tan inapropiado el que México participe con el diseño y construcción de algunas componentes claves de un telescopio, aunque éste no necesariamente quedé ubicado en México. Naturalmente, los astrónomos mexicanos tendrían acceso a este telescopio, en proporción a su aportación económica y humana. Además, con el desarrollo de las telecomunicaciones es posible realizar observaciones remotas en los nuevos telescopios, o sea, utilizarlos desde cualquier punto del planeta (que esté adecuadamente "conectado"). Como hemos mencionado, el tema levanta considerable controversia y no ha sido discutido suficientemente.

Como complemento en el área de la construcción de telescopios, se ha desarrollado en México considerable experiencia en el diseño y construcción de detectores y equipo periférico para usarse en dichos telescopios. De hecho, en la actualidad la calidad de los detectores en un factor de gran importancia. Por supuesto, hace muchas décadas que el ojo e inclusive la placa fotográfica han sido sustituidos por sofisticados detectores electrónicos sin los cuales es imposible competir a nivel internacional.

### IVc. La apertura de la astronomía mexicana a las astronomías que se realizan en ondas "no visibles"

Como en todo el mundo, la astronomía en México se inició observando la luz que emiten los astros, la llamada astronomía visible. Pero, según quedó claro ya a fines del siglo XIX, la luz era sólo parte de algo más grande, uno de los "colores" del espectro electromagnético. Para facilitar al lector la comprensión de este tema, haremos una digresión para discutir qué es el espectro electromagnético.

En 1864, el escocés James Clerk Maxwell unificó dos fuerzas que al parecer son muy distintas: la eléctrica y la magnética. El ya sabía que era posible producir electricidad a partir del magnetismo y magnetismo a partir de la electricidad y de su formulación matemática pudo predecir que si uno hacía variar rápidamente las fuerzas eléctricas o las magnéticas se "desprendían" del cuerpo productor de dichas fuerzas (por ejemplo, un electrón o bien un imán) unas misteriosas ondas que viajarían por el espacio, las llamadas ondas electromagnéticas. De acuerdo a sus ecuaciones, era posible encontrar a que velocidad se movería esta curiosa radiación electromagnética. La velocidad resultante era exactamente la de la luz, 300,000 kilómetros por segundo. Visionariamente, Maxwell afirmó que la luz era radiación electromágnetica, que sólo tenía de especial el que es detectable por nuestra vista. Las radiaciones infrarrojas y ultravioletas, detectadas por primera vez alrededor de 1800, encontraban una explicación natural: eran otras formas de radiación electromagnética. Maxwell también predijo que sería posible crear en el laboratorio radiación electromagnética de cualquier longitud de onda.

La predicción teórica de Maxwell rebasaba la capacidad experimental de su época y pasaron un par de décadas más antes de que fuera posible producir en el laboratorio radiación electromágnetica, "luz" invisible. En 1888 Heinrich Hertz construyó los primeros receptores y transmisores de ondas de radio. Una chispa producida en el transmisor causaba una respuesta en el detector, colocado a una cierta distancia. Hertz pudo demostrar que las ondas de radio tienen un comportamiento muy similar a la luz, por ejemplo, ambas se reflejan sobre las superficies metálicas pulidas. Como había predicho Maxwell, ambos fenómenos eran formas de radiación electromagnética. La radiación electromagnética queda caracterizada por su frecuencia (cuantas veces por segundo oscila el campo electromagnético).

En la actualidad, se divide el espectro electromagnético en seis "regiones": radio, infrarrojo, visible, ultravioleta, rayos X, y rayos gama (ver la Figura 6). Las ondas de radio son las de mas baja frecuencia y los rayos gama los de mas alta frecuencia. La energía de la radiación es directamente proporcional a su frecuencia, de modo que la radiaciones ultravioletas, de rayos X, o de rayos gama son de hecho dañinas para los seres vivos.

La segunda "ventana", despues de la región visible, que se abrió al estudio del Universo fue la de las ondas de radio. En la década de los años treintas, Karl Jansky detectó por primera vez ondas de radio provenientes del Cosmos. Este descubrimiento llevó a que se comenzara a estudiar el Universo en todas las "ventanas" del espectro electromagnético. Así como las estrellas emiten la mayor parte de su energía como luz, existen otros cuerpos cósmicos que emiten poca luz pero muchas ondas de radio (o de cualquiera otra de las formas de la radiación electromagnética) y que por lo tanto habían permanecido indetectados. Con el desarrollo de las astronomías no visibles se descubrió que el Universo era mucho más rico y complejo de lo que anteriormente se creía.

Las primeras contribuciones mexicanas a estas astronomías fueron realizadas por Eugenio Mendoza en el cercano infrarrojo (la parte de la banda infrarroja que es contigua a la banda visible) en los años sesentas y por Luis Felipe Rodríguez en la región de radio en los años setentas. Si bien estas astronomías son muy poderosas, tienen el problema de que requieren de instrumentación muy sofisticada y especializada, en la cual hay poca experiencia en México. Más aún, con la excepción de la astronomía visible, el cercano infrarrojo, y la radioastronomía, todas las otras astronomías se realizan modernamente desde observatorios espaciales, con costos de construcción y operación elevadísimos. Esto es debido a que nuestra atmósfera es opaca para la mayoría de las ondas electromagnéticas, siendo transparente sólo para las ondas visibles, las del cercano infrarrojo, y las de radio (ver Figura 6). Adicionalmente, nuestro país cuenta con poca tradición y conocimiento en la tecnología de la astronaútica. Es necesario que, dentro de las restricciones mencionadas, nuestro país haga un esfuerzo para continuar y acrecentar su presencia en estas nuevas astronomías.

### IVd. La formación de grupos teóricos

Ya habíamos mencionado que en su inicio la astronomía mexicana se realizaba predominantemente en el campo observacional. Con la incorporación del Dr. Jorge Cantó al Instituto de Astronomía de la UNAM comienza a desarrollarse un grupo teórico que estudia la formación de las nuevas estrellas y la dinámica de los gases interestelares. Otros grupos teóricos en áreas como la dinámica estelar se consolidan con el paso del tiempo, que junto con las áreas iniciadas por el Dr. Cantó son las de mayor impacto a nivel internacional. En la actualidad, tres grupos diferentes estudian teóricamente el medio interestelar y todos cuentan con amplio reconocimiento nacional e internacional.

Es necesario mantener en la astronomía nacional una fuerte componente teórica, de preferencia vinculada con el tipo de fenómenos que son estudiados por los astrónomos observacionales de la comunidad. Esto produce una saludable sinergia, con la que se benefician tanto teóricos como observacionales.

### IVe. La diseminación de la investigación astronómica a la provincia mexicana

Todos sabemos que uno de los mayores problemas de México es la excesiva centralización en el Distrito Federal. Si bien los observatorios han sido por necesidad ubicados fuera de esta gran urbe, hasta muy recientemente la mayoría de los astrónomos mexicanos residían en la capital. Afortunadamente, este problema comienza a corregirse y aproximadamente la mitad de la centena de astrónomos profesionales con que cuenta el país están ubicados en Ensenada, Tonantzintla, Guanajuato, y Morelia. A esta nueva tendencia han contribuido por un lado algunos alicientes salariales para los investigadores que radican en provincia (por ejemplo, el Sistema Nacional de Investigadores otorga en sus becas un salario mínimo más a estos investigadores), como la creciente inhabitabilidad del Distrito Federal. Dígamos que ha habido una combinación de zanahoria y garrote involuntario para que se de este desplazamiento.

Claramente, se requiere una más amplia distribución geógrafica de las actividades de todo tipo en nuestro país. Las actividades académicas de docencia, investigación, y difusión de la ciencia no pueden separarse del desarrollo económico, humano, y social de los seres humanos y es necesario continuar propiciando la descentralización en tods las facetas de la vida nacional.

### IVf. La calidad y relevancia de la astronomía mexicana en el contexto internacional.

¿Cuál es la presencia mexicana en el contexto astronómico internacional? Cuantitativamente, es relativamente pequeña. Hay alrededor de 12,000 astrónomos profesionales en todo el mundo, sólo 1 de cada 120 trabaja en México. Afortunadamente, cualitativamente el impacto de la astronomía mexicana ha sido muy respetable desde los años cincuentas. Estudios bibliométricos corroboran esta afirmación. Un estudio realizado en 1989 por Schubert y colaboradores coloca a México en el quinto lugar (detrás de Chile, EUA, Suiza y Holanda) en el promedio de citas recibidas a los artículos de astronomía en el período 1981-1985. Las citas recibidas por un artículo son un indicador de su impacto entre la comunidad respectiva. Si bien una golondrina no hace verano y estos estudios deberían de continuarse haciendo para obtener una visión estadística más sólida, el resultado es muy halagador. Es importante destacar que dentro de las estadísticas de Chile se incluyen a los astrónomos europeos que ahí radican, utilizando los telescopios del

Observatorio Austral Europeo ubicado en ese país. Con frecuencia se dice que es más fácil obtener citas bibliográficas en la astronomía que en otras ciencias. Sin embargo, las estadísticas de Goodwin indican que en los EUA las tasas de citas recibidas anualmente son muy similares para físicos y astrónomos. Adicionalmente, los astrónomos mexicanos han recibido repetidamente distinciones de diversos tipos tanto nacionales como internacionales.

## V. CONCLUSIONES

En este artículo hemos presentado un resumen histórico del desarrollo de la astronomía mexicana durante el presente siglo. Se ha argumentado, apoyándose con estudios bibliométricos, que en México ésta es posiblemente el área de las ciencias exactas con más impacto internacional. Tambien hemos discutido los retos que nos depara el siglo XXI. Entre éstos destacan el continuar creciendo en número sin perder los niveles de calidad que se han alcanzado y el lograr que los astrónomos observacionales mexicanos tengan acceso a grandes telescopios. A fines del milenio, la astronomía mexicana se diversifica y enriquece. El abanico de temas en los que se trabaja es bastante amplio. Se investiga tanto en la región visible como en otras longitudes de onda, tanto observacional como teóricamente. Comienza a haber núcleos importantes de investigadores en sitios en la provincia.

Como todas las ciencias, la astronomía mexicana se ha visto afectada por las oscilaciones tan bruscas que ha sufrido la economía del país. Suena injusto el pedir que se privilegie a los científicos por sobre otras actividades. Sin embargo, la formación de una persona en las ciencias toma décadas y si estas oscilaciones continúan parece imposible el evitar que se pierdan muchas vocaciones en alguna de las crisis por las que un joven en formación tendrá que pasar. El camino a recorrer es arduo y empinado. Pero los científicos mexicanos lo recorreremos porque estamos convencidos de que nuestro país no alcanzará su madurez a menos que la ciencia esté presente de manera importante en nuestro futuro.

## REFERENCIAS

Gran parte del material de este artículo se obtuvo de las siguientes referencias, las cuales se recomiendan para el lector interesado en una visión mas detallada de la historia de la astronomía en México.


Jorge Bartolucci, “La Modernización de la Ciencia en México: El Caso de los Astrónomos”, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM, México, 1996.

Alberto Carramiñana, recopilador, “Impacto, Diagnóstico, y Perspectivas de la Astrofísica, Optica y Electrónica en México”, Memorias de una reunión celebrada en Oaxtepec, Morelos en 1966.

Carlos Chavarría, “Eugenio Mendoza: A Portrait”, 1994, Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 29, 11

I. Goodwin, 1995, Physics Today, 48, 67

Marco A. Moreno Corral, “Historia de la Astronomía en México”, Fondo de Cultura Económica, Serie La Ciencia desde México, México, 1986.

Marco A. Moreno Corral, “El Observatorio Astronómico Nacional y el desarrollo de la ciencia en México, 1988, Quipu, 5, 60

Manuel Peimbert, “The Astronomy of Guillermo Haro”, 1983, Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 7, 15

A. Schubert, W. Glanzel, y T. Braun, 1989, Scientometrics, 16, 3

## Pies de Figura

Figura 1. La primera sede del Observatorio Astronómico Nacional estuvo en la azotea del Castillo de Chapultepec.

Figura 2. La astronomía mexicana de la primera mitad del siglo XX estuvo dominada por tres personajes: Joaquín Gallo (izquierda), Luis Enrique Erro (centro), y Guillermo Haro (derecha).

Figura 3. El telescopio tipo cámara Schmidt de Tonantzintla.

Figura 4. Los objetos Herbig-Haro 1 (derecha) y 2 (izquierda), los primeros descubiertos en una imagen del Telescopio Espacial "Hubble".

Figura 5. El número de astrónomos profesionales trabajando en México (eje vertical) como función del año (eje horizontal). Estimación del autor.

Figura 6. Las bandas del espectro electromagnético (parte superior). En la actualidad para observar el Universo en muchas de las bandas se tiene que utilizar un observatorio en órbita por encima de la atmósfera terrestre. Enla parte inferior de la figura se indica desde donde son observables (Tierra o espacio) las ondas respectivas.