

RAYOS CÓSMICOS Y EL ESTABLECIMIENTO DE CONEXIONES ENTRE LA CIENCIA EN ESTADOS UNIDOS Y LATINOAMÉRICA

Las investigaciones acerca de la radiación cósmica hasta los años treinta requirieron de la realización de expediciones en una amplia distribución geográfica. Las variaciones en las medidas de intensidad y dirección que se registraron en estos viajes serían fundamentales para determinar su origen y composición. Latinoamérica fue un lugar relevante para estas investigaciones, siendo parte de los itinerarios de las expediciones y por el establecimiento de estaciones permanentes de medición. Este capítulo se centra en las investigaciones de rayos cósmicos realizadas en Latinoamérica por Arthur Compton y sus colaboradores. Específicamente, muestra que estos estudios sirvieron para acercar y vincular a comunidades de físicos en Estados Unidos y México. Sandoval Vallarta contribuyó a estas investigaciones con sus conocimientos de física, y también desde su capacidad de mediación, esto al incorporar a ingenieros mexicanos en estas investigaciones, así como a algunos argentinos que realizaron estancias posdoctorales en el MIT, además de asesorar en la realización de investigaciones sobre este tema en Latinoamérica. Sandoval Vallarta proyectó su autoridad científica en el contexto de las ciencias físicas en la región y tuvo oportunidad de establecer contactos con investigadores latinoamericanos, lo cual fue clave para su posterior implicación en el fomento de las relaciones científicas entre Estados Unidos y Latinoamérica. Si bien su preocupación en esta dirección se expresa de manera concreta, a partir de la investigación de rayos cósmicos, su participación en foros y asociaciones de construcción hemisférica de las primeras décadas del siglo XX muestra ya cierta afinidad con los discursos de reivindicación de la unidad latinoamericana y de la solidaridad hemisférica.

La importancia de las expediciones científicas y el espacio de Latinoamérica en la investigación de los rayos cósmicos

Desde principios del siglo xx se sabía de la existencia de una radiación de origen desconocido que se detectaba permanentemente en electrómetros, instrumentos que se usaban entonces para la detección de cualquier tipo de radiación. En un principio se especuló si se trataba de una radiación residual, proveniente de los elementos radioactivos presentes en la corteza terrestre. Victor Hess (1883-1964), físico austriaco, demostró que esta radiación se originaba en el espacio exterior, denominándola entonces como *Höhenstrahlung* o “radiación desde arriba” (De Maria *et al.*, 1991). Hess tomó mediciones con electrómetros entre 1911 y 1913, mediante ascensos en globo hasta alturas superiores a los cinco mil metros, y fue así como registró un aumento notable en la intensidad de esta radiación en relación directa con la altura.¹

La investigación de este tipo de radiación en las primeras dos décadas del siglo xx se centró en la altura como variable principal. Para eso hubo que tomar mediciones de la tierra al cielo, principalmente con electrómetros, sumergiéndolos en lagos, llevándolos a las cimas de diferentes elevaciones terrestres o transportándolos a bordo de globos aerostáticos que alcanzaban cada vez mayores alturas. Además de sus ascensos en globo, entre 1913 y 1914, Hess tomó medidas en montes y cuevas en Carinthia, en los Alpes austriacos. En 1914, Alfred Gockel (1860-1927), físico suizo, sumergió electrómetros en lagos de los Alpes suizos, en las inmediaciones de Berna (lagos Constance y Oberland). Por su parte, Theodore Wulf (1868-1946), físico alemán, realizó mediciones en la Torre Eiffel. Werner Kolhörster (1887-1946), físico alemán, al igual que Hess realizó medidas en globo, llegando a alturas de más de nueve mil metros; luego, durante la primera guerra mundial, tomó medidas en Waniköi, Turquía, y en 1923 llevó sus electrómetros a los glaciares alpinos y lagos cerca de Berlín.

En Estados Unidos, el grupo encabezado por Robert Millikan en Caltech se encargó de llevar a cabo mediciones en globo con electrómetros desde 1922, principalmente en lugares de Norteamérica y con financiamiento de

¹ Ziegler (1989) discute los retos tecnológicos que implicaron las mediciones de radiación en globos aerostáticos, en lo cual Hess y otros científicos hicieron importantes contribuciones.

la Carnegie Institution of Washington (CIW). Millikan fue quien los denominó “rayos cósmicos” cuando, con sus experimentos, confirmó que se trataba de una radiación proveniente del espacio. De hecho, hubo una disputa entre los grupos de investigación en Europa y el grupo de Millikan respecto de la adjudicación de la demostración del origen de los rayos cósmicos en el espacio exterior. Millikan tenía fama de resaltar las investigaciones que se hacían en Caltech, quizá debido a la implicación que tuvo en la promoción de la investigación científica en Estados Unidos. Esta controversia ilustra el ambiente de competencia científica entre Europa y Estados Unidos. Finalmente, Hess recibió el reconocimiento internacional por el descubrimiento de la radiación cósmica cuando fue galardonado con el premio Nobel en 1936, al mismo tiempo que un estudiante de Millikan, Carl Anderson (1905-1991), por la detección del positrón, producto de sus experimentos con cámaras de niebla en relación con la radiación cósmica (De Maria *et al.*, 1991).

Aunque Millikan y colaboradores se centraron en tomar mediciones en territorio estadounidense, entre 1925 y 1927 también las realizaron en Bolivia, al nivel del mar y en los Andes. Estas mediciones fueron utilizadas para afirmar que la intensidad de la radiación cósmica que se registraba en la Tierra no parecía verse influenciada por el Sol o la Vía Láctea, ni por eventos atmosféricos o por la latitud geomagnética. En esta etapa se buscaba relacionar la radiación cósmica con parámetros astronómicos o geofísicos. Para estos experimentos usaron otro tipo de instrumentos, las cámaras de ionización, lo cual permitía tener información de energía y, en consecuencia, estimar el poder de penetración de esta radiación y distinguir diferentes tipos de partículas. A partir de estos datos, Millikan concluyó que los rayos cósmicos eran una especie de llanto de nacimiento de átomos infantiles, lo cual llevaba implícita una propuesta de interpretación cosmológica, según la cual los átomos se originan en el espacio interestelar (De Maria y Russo, 1989). Millikan rechazaba que los rayos cósmicos estuvieran constituidos por partículas que tuvieran carga eléctrica y en su opinión debían estar compuestos por fotones y rayos gamma. Además, para complementar su demostración de que los rayos cósmicos no responden al campo magnético terrestre, en 1930 realizó mediciones en Pasadena, California, y en Churchill, Manitoba, en Canadá (De Maria y Russo, 1989).

Los rayos cósmicos en esta etapa significaron una fuente de información e interrogantes fundamentales para la física nuclear. A partir de su estudio, se lograron detectar nuevas partículas, que complejizaron aún más el conocimiento

que se tenía sobre la composición de la materia. De ahí se tuvo evidencia importante para los debates en los que participaron teóricos relevantes en la formulación de la mecánica cuántica (Cassidy, 1981; Galison, 1983). A principios de los años treinta, la composición y el origen de los rayos cósmicos era el tema de discusión en boga entre la comunidad internacional de físicos nucleares (De Maria *et al.*, 1991; Hughes, 2002).

La relación de los rayos cósmicos con variables geofísicas hizo de la investigación en este tema una ciencia de tipo expedicionaria. Los físicos que se dedicaron a la detección de rayos cósmicos tuvieron que adaptarse al trabajo en campo, acondicionando los diferentes instrumentos que se fueron incorporando para su escrutinio, principalmente electrómetros, cámaras de ionización y contadores Geiger-Müller. Mientras que los electrómetros eran capaces de detectar sólo intensidad, las cámaras de ionización aportaban imágenes con las que se podría obtener información sobre energía, composición y trayectorias.

Con los contadores Geiger-Müller se desarrolló una técnica que se conoce como método de coincidencias, con el cual se podía relacionar la intensidad de la radiación cósmica con la dirección de procedencia. El método de coincidencias era particularmente accesible, ya que no requería de componentes costosos y el arreglo experimental era de fácil manufactura, lo que favoreció la proliferación de grupos de investigación en rayos cósmicos. Los distintos instrumentos que se usaron en esta investigación están asociados con diferentes subculturas de la física que se distinguían por la manera de detectar y validar la existencia de nuevas partículas, bien por métodos lógicos en los que había que acumular mediciones indirectas y a partir de ahí sacar conclusiones, o bien con imágenes para las que bastaba un evento como prueba suficiente (Galison, 1997).

En Italia, un grupo importante también se encargó de llevar a cabo mediciones de radiación cósmica, encabezados por Domenico Pacini (1878-1934) y Bruno Rossi (1905-1993) (Carlson y de Angelis, 2011; Bonolis, 2014). Rossi, de hecho, fue importante en la formulación del método de coincidencias, para lo cual usaba contadores Geiger-Müller, colocados de manera tal que para que una medición se detectara, tenía que ocurrir simultáneamente en los contadores acoplados (Bonolis, 2011). Para ello hizo un arreglo experimental, en el que también propuso unos circuitos que hacían una medición sistematizada. Rossi se oponía a la teoría de Millikan acerca de que los rayos cósmicos no eran partículas cargadas. Así se lo manifestó en 1931, cuando Enrico Fermi

organizó una reunión internacional de física nuclear en Roma, a la cual invitó a Rossi para presentar sus hallazgos en las investigaciones de rayos cósmicos. A esta reunión también asistieron Millikan y Arthur Compton, ambos físicos estadounidenses que habían sido galardonados con el premio Nobel en 1923 y 1927, respectivamente. Varios autores sostienen que la participación de Rossi fue determinante para definir la incursión en el tema por parte de Compton y, en particular, respecto de las dudas que existían en relación con la composición de los rayos cósmicos, si eran o no partículas cargadas (De María y Russo, 1989; Bonolis, 2014). Lo cierto es que antes del congreso de Roma, Compton ya había empezado a trabajar un poco en el tema, pues le interesaba incursionar en fenómenos de física nuclear, lo que era posible desde la investigación de rayos cósmicos, pero también había una facilidad práctica, relacionada con el tipo de instrumentos que Compton usó en sus investigaciones previas.

Al volver a Estados Unidos, Compton planeó la realización de una expedición que le permitiera buscar una relación respecto de la latitud geomagnética, como había sugerido Rossi, con lo cual demostraría que la composición de los rayos cósmicos consistía principalmente en partículas con carga eléctrica, al contrario de lo que suponía Millikan. Compton solicitó financiamiento de la CIW para llevar a cabo su expedición, como había hecho Millikan. Por eso, en la CIW se sugirió que ambos programas de investigación debían realizarse coordinadamente, lo que consultaron con Millikan, pero su respuesta fue: “Since I have been working in this field for ten years and [Compton] has just begun, perhaps the best way would be for you to inform him as to the nature of my program through sending him a copy of this letter and asking him to use a similar procedure with respect to his own”.²

Millikan contaba con un financiamiento por veinte mil dólares para la realización de expediciones, construcción de instrumentos para éstas y mejoramiento de técnicas experimentales. Tenía planeado tomar mediciones desde aeroplanos que alcanzaban altitudes de veinte a treinta mil pies, desde California hacia el polo norte. También, colocaría instrumentos en ascensos en globo a alturas superiores a los treinta mil pies. Finalmente, mejoraría el trabajo

² “Dado que he estado trabajando en este campo desde hace diez años y [Compton] acaba de comenzar, tal vez lo mejor sería que usted le informara acerca de la naturaleza de mi programa enviándole una copia de esta carta e invitándole a utilizar un procedimiento similar con respecto al suyo” (CIS Archives, Carnegie Administration Files, Record Group General, Box 23, File 30 “Millikan RA 1932-1934”, carta de Robert Millikan a W. N. Gilbert de la CIW, 27 de enero de 1932).

en mediciones directas de energía de rayos cósmicos por medio de experimentos con cámaras de Wilson, colocándolas en campos magnéticos intensos.³

Dada la relevancia de ambos en la física estadounidense, seguramente no sería fácil decidir a quién negar el apoyo. Finalmente, ambos recibieron financiamiento de la CIW el mismo año, bajo el argumento de que de ese modo la institución mostraría que daba prioridad al conocimiento, en vez de a las personas, y así evitar que pareciera que Millikan tenía cierto monopolio, dado que el programa de Compton mantenía una hipótesis opuesta a la de éste. De hecho, a partir de entonces, la CIW estableció un comité que decidiría sobre solicitudes relacionadas con la investigación en rayos cósmicos. La CIW asoció estos estudios al Department of Terrestrial Magnetism (DTM), dirigido por Merle Tuve y donde se realizaban trabajos en física nuclear.

Además, el DTM tuvo en sus inicios la coordinación de expediciones, de modo que tenía sentido que la expedición de Compton encontrara acogida en la CIW, dada la experiencia que existía en esta institución en ese ámbito. En particular, en este Departamento se emprendió una gran exploración para elaborar un mapa del magnetismo terrestre, y esto es significativo porque la exploración de Compton tuvo en cuenta dos de los sitios donde se habían establecido estaciones magnéticas en Latinoamérica: Perú y México (Good, 2007). Ese fue uno de los argumentos en favor de esta expedición. También tenía sentido esta vinculación desde el punto de vista de la investigación, en la que se buscaba relacionar la intensidad de la radiación cósmica con la distribución geomagnética. La CIW concedió el total del presupuesto planteado por Compton, en total dieciocho mil dólares.

La expedición de Compton abarcaba una amplia distribución geográfica. Estaba compuesta por diferentes grupos de investigación que seguirían itinerarios específicos, abarcando diferentes latitudes de norte a sur: Suiza y Noruega (Spitzbergen) en el norte de Europa; Canadá, Estados Unidos (Alaska, Hawai, California, Colorado, Michigan, Illinois y Boston), México, Panamá y Perú en el continente americano; y Australia, India, Ceylán, Malasia, Java, Nueva Zelanda, Ladakh (en India) y Sudáfrica, aún entonces colonias europeas, en el hemisferio sur (Compton, 1933). Compton personalmente se encargaría de las expediciones por Hawai, Nueva Zelanda, Australia, Panamá, Perú,

³ CIS Archives, Carnegie Administration Files, Record Group General, Box 23, File 30 "Millikan RA 1932-1934", carta de Robert Millikan a W. N. Gilbert de la CIW, 27 de enero de 1932.

México, el norte de Canadá, Michigan e Illinois. Cada grupo traería consigo un medidor de rayos cósmicos que fue diseñado, probado y estandarizado por Compton y John J. Hopfield para estas expediciones (Compton y Hopfield, 1933). Con este instrumento se podía medir la intensidad de los rayos cósmicos por la ionización que producían en gases monoatómicos.

Se trataba de expediciones coordinadas y centralizadas, a la manera que se había hecho con las mediciones de magnetismo terrestre en la CIW. Su principal objetivo consistía en detectar una asociación entre la intensidad de la radiación cósmica y la latitud geomagnética. A este fenómeno se lo llamó “efecto de latitud”, y su demostración tendría implicaciones importantes en la comprensión del origen y composición de los rayos cósmicos.

Aunque el efecto de latitud fue propuesto y analizado simultáneamente por varios grupos de investigación, la expedición de Compton fue crucial para dar una demostración definitiva. Para ello fueron determinantes los datos que consiguió en las proximidades del Ecuador geomagnético en Latinoamérica, lo cual contribuyó a atraer el interés en ese lugar entre los físicos que se dedicaban al tema de los rayos cósmicos. Por un lado, Millikan se vio obligado a repetir las mediciones que había tomado anteriormente en la región, específicamente en Perú (Arequipa) y Panamá. Asimismo, otros investigadores europeos realizaron expediciones considerando algunos lugares de Latinoamérica en su itinerario, como en 1936 Jacob Clay (1882-1955), físico holandés, quien encabezó una expedición desde Ámsterdam a Parral, en Chile, vía Panamá, y pasando por Perú (Clay *et al.*, 1936). Un aspecto que distinguió la expedición de Compton respecto de otras que pasaron por lugares de Latinoamérica es que construyó infraestructura y relaciones científicas en la región. Más adelante mostraré cómo se mantuvo y promovió este interés en Latinoamérica como lugar relevante para las investigaciones en rayos cósmicos.

La expedición de Compton: itinerarios y encuentros en México

Al momento de plantear su expedición, Compton no estaba especialmente interesado en México como un lugar relevante para su programa de investigación. La inclusión de México en su itinerario se debió a una cuestión práctica, relacionada con la infraestructura que puso a su disposición la institución

que financiaba su viaje (Mateos y Minor, 2013). En México se había instalado una estación geomagnética, que formaba parte de una red que a principios de siglo fue promovida por la CIW para monitorear el magnetismo terrestre. Esta institución envió los instrumentos para equipar la estación, aunque ésta perteneció al Observatorio Astronómico Nacional de México, lo cual contrasta con las otras estaciones instaladas en Perú y Australia, que eran administradas directamente por la CIW y operadas por personal estadounidense (Good, 2007: 398-399). La expedición de Compton en Latinoamérica, además de México, haría paradas en Perú y Panamá, lugares representativos de la forma en que se extendía la acción de la CIW y, en general, de Estados Unidos en Latinoamérica. También en su itinerario incluyó lo que aún eran colonias europeas en Asia. Esto remite al modo en que las ciencias expedicionarias históricamente han estado asociadas con una lógica de exploración y expansión imperial (Nielsen *et al.*, 2012).

En los planes originales de la expedición de Compton, Sandoval Vallarta no era mencionado como colaborador. De hecho, a pesar de que en el periódico del MIT, *The Tech*, se anunció que tanto él como Ralph Decker Bennett (1901-1994) participarían en esta expedición, sólo este último participó oficialmente como parte del grupo que se encargó de construir y estandarizar los instrumentos que se usarían en la expedición (*The Tech*, 1932). Bennett había estudiado el doctorado con Compton en la Universidad de Chicago, y para entonces trabajaba en el MIT. Dado que no existía otra justificación, es razonable suponer que la relación de Sandoval Vallarta con esta expedición fue motivada en gran medida por el itinerario de Compton en México. Debido a que era identificado como mexicano entre los físicos en Estados Unidos y que era conocida su costumbre de pasar el verano en México, su participación en la expedición de Compton se planteó como la de un contacto local que tiene una función de guía e intermediario.⁴ Más aún, Sandoval Vallarta era capaz de aportar con sus conocimientos, no sólo del territorio mexicano y del ambiente intelectual ahí, sino también desde su especialidad científica. Su intervención sería activa y directa.

A principios de los treinta, Sandoval Vallarta continuaba trabajando en temas de mecánica cuántica, particularmente investigaba la relación entre la relatividad y el principio de incertidumbre de Heisenberg (Sandoval y Rosen,

⁴ En relación con el papel de actores locales en la ejecución de expediciones científicas, véanse Safier (2008) y Schaffer *et al.* (2009a).

1932a). En general, tenía una vida activa como físico teórico, participando en conferencias y seminarios en Estados Unidos. Entre éstas, las conferencias anuales de la American Physical Society, a las que Compton también asistía habitualmente, por lo que es posible que se conocieran al haber coincidido en alguna de estas reuniones. Además, K. T. Compton llevaba un par de años como presidente del MIT, así que pudo haber sido a través de él que su hermano Arthur Compton haya contactado inicialmente con Sandoval Vallarta. Lo cierto es que, a petición de A. Compton, Sandoval Vallarta recomendó los sitios que, a su juicio, serían ideales para tomar las medidas de rayos cósmicos en México y se encargó personalmente de realizar arreglos logísticos para esta parte de la expedición: “Shall be very glad to help you as far as I can. Suggest Nevado de Toluca for cosmic ray measurements. Will gladly arrange for transportation there”.⁵ De ahí se infiere que Compton le pidió sugerencias respecto del sitio para tomar las medidas, seguramente indicándole las características que buscaba. Sandoval Vallarta acompañó a Compton y su esposa, Betty, en su recorrido por México e intermedió con las autoridades mexicanas y la comunidad local de ingenieros para asegurar su apoyo.⁶ No parece que en un inicio Compton le haya planteado otro tipo de colaboración al respecto de sus investigaciones. El hecho es que, a partir de haber participado en la expedición de Compton en México, Sandoval Vallarta reorientó sus investigaciones al tema de los rayos cósmicos, a partir de sus conocimientos de física teórica, particularmente de teoría electromagnética y teoría cuántica.

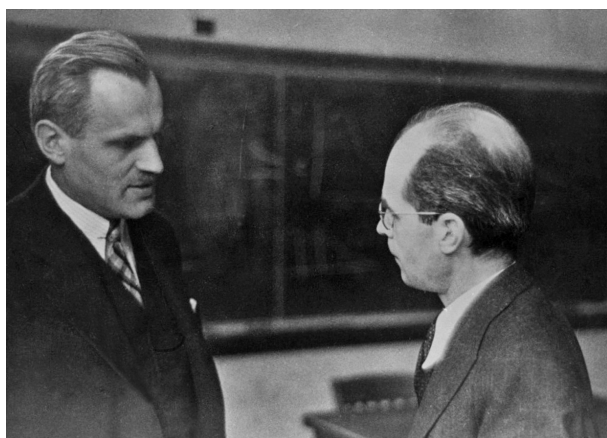
En mayo de 1932, Compton anunció por primera vez sus resultados preliminares, los cuales confirmaban la existencia del efecto de latitud, en una carta al editor de la revista *Physical Review*: “This letter is the first report of an extensive program involving similar measurements by many physicists in widely distributed parts of the world”.⁷ De esta manera, aseguraba la primicia en la demostración del efecto de latitud, mediante un sistema que esta revista había instaurado desde los años veinte, precisamente para anticiparse en el anuncio de resultados de investigación (Sopka, 1988).

⁵ “Estaré encantado de ayudarte tanto como pueda. Sugiero el Nevado de Toluca para las medidas de rayos cósmicos. Con gusto organizaré el transporte hasta allí” (AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia serie Científica caja 30 exp. 9, “Telegrama De Manuel S. Vallarta para Arthur Compton”, 15 de marzo de 1932).

⁶ AIP, “Oral History Interviews: Betty Compton”, 1968.

⁷ “Esta carta contiene el primer reporte de un extenso programa que involucra medidas similares realizadas por varios físicos en partes del mundo ampliamente distribuidas” (Compton, 1932: 113).

En los meses siguientes a este primer anuncio, Compton completaría las mediciones planeadas en Panamá, Perú y México, en ese orden y en lo que era su camino de regreso a Estados Unidos. Traía consigo su contador de rayos cósmicos, un instrumento que pesaba alrededor de 125 kg (Compton y Hopfield, 1933: 494). Consistía en una cámara de ionización esférica con argón, cubierta por una capa de bronce y dos de plomo (para tener una idea de las dimensiones, la última capa de plomo tenía un diámetro exterior de 27 cm), un electrómetro instalado en el interior para medir la radiación y un microscopio que permitía al observador visualizar y registrar los datos.



Arthur Compton y Manuel Sandoval Vallarta. Simposio de rayos cósmicos en la Universidad de Chicago, 1939. Foto: AHCMSV.⁸

Compton estuvo en México en agosto de 1932, tiempo en el cual tomó mediciones en el puerto de Veracruz y Orizaba (estado de Veracruz), en el volcán Nevado de Toluca (Estado de México) y en la capital de México. Sandoval Vallarta lo acompañó en este recorrido y aprovechó la ocasión para presentarlo en sus círculos intelectuales en México, particularmente con profesores de la UNAM, entre quienes estaba Ricardo Monges López (1886-1963), ingeniero civil de formación, aunque orientado profesionalmente en temas de geofísica. En su visita, Compton presentó sus investigaciones sobre rayos cósmicos en una reunión convocada por la Sociedad Científica “Antonio Alzate”, la Sociedad de Geografía y Estadística, y la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos. En ese

⁸ AHCMSV, Fototeca, subsección Congresos y Conferencias, serie Internacional, subserie Fotografías, álbum 1, expediente 1, unidad 3.

entonces no había físicos especializados en México; tampoco existía una comunidad consolidada en esa disciplina. Sandoval Vallarta seguía siendo el único mexicano con un título profesional de físico y eso lo hacía especialmente relevante e influyente en ese contexto. En alianza con Monges López, quien fue un promotor fundamental en la creación de espacios institucionales para la formación e investigación en física y matemáticas en la UNAM, Sandoval Vallarta contribuyó a establecer un grupo de investigación sobre rayos cósmicos en México.⁹ La expedición de Compton fue clave en ese sentido.

Después de su encuentro en México, Compton y Sandoval Vallarta estrecharon sus lazos de colaboración. Mientras que Compton continuó su ruta de viaje de regreso a Estados Unidos, Sandoval Vallarta se dirigió al MIT (fue la primera vez que llegó con retraso respecto del inicio de cursos).¹⁰ Estando ahí, comenzó a trabajar, en colaboración con Georges Lemaître (1894-1966), sobre una explicación teórica de la interacción entre partículas cargadas y el campo magnético terrestre. Lemaître, de origen belga, había realizado sus estudios de doctorado en el MIT entre 1924 y 1926, bajo la dirección de Harry Goodwin; de hecho, Sandoval Vallarta fue uno de los evaluadores de su tesis.¹¹ Su primer artículo en colaboración fue fundamental como explicación teórica de los resultados obtenidos por la expedición de Compton y, en general, sobre la interacción de la radiación cósmica con el campo magnético terrestre (Lemaître y Vallarta, 1933).¹² Esta contribución a la investigación de rayos cósmicos sería conocida desde entonces como “teoría Lemaître-Vallarta”. Sandoval Vallarta describió su experiencia en la elaboración

⁹ Entre otras cosas, Monges López participó en la transformación de la universidad a principios de los treinta, tras la declaración de autonomía universitaria. Con su impulso se logró que la creación de un Instituto de Física, al igual que la Facultad de Ciencias, se incluyeran en los planes institucionales de la UNAM hacia 1934 (Minor, 2009).

¹⁰ Según consta en su expediente en el MIT, ésta fue la primera ocasión que volvió tarde respecto del inicio de cursos, justificando su retraso por causa del mal tiempo y daños en la carretera panamericana de la Ciudad de México a la frontera con Estados Unidos, en Nuevo Laredo, Tamaulipas (MIT Archives, Office of the President AC4, Box 228, folder 3, “Vallarta, Manuel S. 1932-1947”, Telegrama de M. S. Vallarta para J. C. Slater, 13 de septiembre de 1932).

¹¹ AHCMVS, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 20, expediente 29, “Report on the Revised Doctoral Dissertation of G. Lemaître”, firmado por H. B. Phillips, P. Franklin y M. S. Vallarta.

¹² Según la base de datos Web of Science, éste es el artículo de Manuel Sandoval Vallarta que más citas ha tenido desde su publicación, con ciento diez menciones. En general, sus artículos que más citas acumulan son investigaciones en relación con rayos cósmicos, con excepción de un artículo que publicó con Nathan Rosen, y se concentran principalmente en la década de los treinta, excepto un artículo de 1948.

de este artículo en una carta que envió a su antiguo estudiante de maestría, Nathan Rosen (1909-1995), con quien también escribía un artículo en conjunto:

Lemaître and I worked liked fury all through the month on the problem of the latitude effect of cosmic radiation. I don't believe that I had ever worked harder before and it surely is a long time since I worked as hard. Our paper is now finished and was sent yesterday to Tate [editor de la revista *Physical Review*]; we have shown that the latitude effect observed by Compton and his collaborators is wholly in agreement with the hypothesis that the cosmic radiation consists of a mixture of particles charged and uncharged, coming to the earth from the infinity in all directions.¹³

Lemaître y Sandoval Vallarta continuaron colaborando durante los años treinta. En 1936, Sandoval Vallarta fue profesor visitante en la Universidad de Lovaina, donde trabajaba Lemaître.¹⁴

Para Sandoval Vallarta, estas investigaciones teóricas en rayos cósmicos representaron un giro profesional. Precisamente, su trabajo en este tema ha sido reconocido como su principal contribución en el ámbito de la física. Además, fue por sus artículos en rayos cósmicos por lo que sus colegas físicos lo nominaron para ser incluido en el catálogo de referencia *American Men of Science* y distinguido entre los más destacados científicos estadounidenses.¹⁵ Esto no debe desestimarse, porque, por la forma de construir este lis-

¹³ “Lemaître y yo trabajamos intensamente a lo largo del mes en el problema del efecto de latitud de la radiación cósmica. Creo que nunca antes había trabajado tan duro [...]. Ahora nuestro artículo está terminado y ayer se lo enviamos a Tate [editor de la revista *Physical Review*]. Hemos mostrado que el efecto de latitud observado por Compton y sus colaboradores es plenamente congruente con la hipótesis de que la radiación cósmica consiste en una mezcla de partículas cargadas y sin carga, que llegan a la Tierra desde el infinito en todas direcciones” (AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 23, exp. 3, 17 de noviembre de 1932). Carta de Manuel S. Vallarta a Nathan Rosen. Rosen y Vallarta escribieron varios artículos en conjunto (Sandoval y Rosen, 1930; 1932a; 1932b). Poco tiempo después de colaborar con Sandoval Vallarta, Rosen publicaría su famoso artículo en conjunto con Albert Einstein y Boris Podolsky, lo que se conoce como la paradoja Einstein-Podolsky-Rosen.

¹⁴ MIT Archives, Office of the President AC4, Box 228, folder 3, Memorandum “Leave of Absence for Professor Vallarta”, 23 de mayo de 1935.

¹⁵ Este catálogo se formaba con los nombres de científicos que hubieran sido nominados más veces por otros científicos estadounidenses; por eso se considera una distinción colectiva. También, en cada edición se indicaba a los mil científicos más destacados, seleccionados por quienes hubieran sido distinguidos con esa categoría en la edición anterior. Vallarta apareció en este catálogo en la edición de 1937 entre los mil científicos más destacados en Estados Unidos, de los cuales sólo treinta y siete eran físicos (Visher, 1947: 138).

tado, se diría que significó un reconocimiento importante de la comunidad de físicos estadounidenses al trabajo de investigación de Sandoval Vallarta.



En primer plano, George Lemaître y Manuel Sandoval Vallarta (posiblemente en México). Foto: AFIFUNAM

Para Lemaître, que se interesaba más por cuestiones cosmológicas, esta explicación teórica era consistente con su hipótesis del átomo primitivo, según la cual los rayos cósmicos eran partículas remanentes de una primera explosión del universo ocurrida hace miles de millones de años y que desde entonces el universo estaba en expansión (Kragh, 2012). Para Compton representó una prueba teórica del efecto de latitud que fortalecía los resultados de su expedición y su programa de investigación, específicamente porque contribuía a su demostración del efecto mencionado. Por otro lado, la comunidad científica mexicana se benefició también del encuentro motivado por la expedición de Compton, convirtiendo a los rayos cósmicos en un aliado fundamental para la creación de instituciones científicas.

El de 1932 fue un año que ha trascendido como *annus mirabilis* en la historia de la física nuclear, principalmente por la identificación del neutrón (partícula nuclear desprovista de carga eléctrica) por James Chadwick (1891-1974) en el Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge (Inglaterra); la primera desintegración artificial del núcleo atómico con un acelerador de partículas construido por John Cockcroft (1897-1967) y Ernest Walton (1903-1995), también en el Laboratorio Cavendish; y la identificación del positrón (partícula con las mismas características que el electrón, pero de carga eléctrica positiva) por Carl Anderson (1905-1991) en Caltech (Hughes, 1998; Kragh, 1999: 184-189). También fue un año crucial para la comprensión del origen y la composición de los rayos cósmicos, con la demostración del efecto

de latitud como resultado de la expedición de Compton, así como para los científicos que participaron en la expedición de Compton, incluyendo a Sandoval Vallarta y Lemaître. En México, representó una vía para el acercamiento y vinculación con la física en Estados Unidos. Los rayos cósmicos colaboraron también mostrando su relación con el magnetismo terrestre. En muchos sentidos, la expedición de rayos cósmicos significó un encuentro fortuito que impactó fuertemente en la historia de cada uno de los actores involucrados.

La investigación de rayos cósmicos en tránsito entre Estados Unidos y México

El grupo de Compton organizó otras expediciones de rayos cósmicos en México.¹⁶ Su propósito entonces era encontrar asimetrías en la intensidad de la radiación cósmica en direcciones este-oeste, lo cual se conoció como “efecto azimutal”. De esa manera, sería posible averiguar si los rayos cósmicos estaban formados principalmente por partículas de carga eléctrica positiva o negativa. Según las predicciones, este efecto se detectaría en las cercanías del Ecuador geomagnético.

A finales de 1932, en la conferencia anual de la American Physical Society, celebrada en Chicago, Compton anunció las investigaciones que su grupo realizaría para comprobar este efecto, presentándolas como una predicción de la teoría Lemaître-Vallarta. Años atrás, Rossi hizo la misma predicción y para demostrarlo planeó una expedición a Eritrea (en el este de África y aún entonces colonia de Italia), pero debido a la falta de financiamiento no consiguió realizarla, sino hasta después de que el grupo de Compton informó sus primeros resultados (De Maria y Russo, 1989; Rossi, 1990; Bonolis, 2014).

Sandoval Vallarta promovió que las mediciones para demostrar este efecto fueran realizadas en la capital de México, aludiendo las ventajas de su ubicación respecto del Ecuador geomagnético y la altura:

If the rays are positively charged, they should come mostly from the west, if negatively, predominantly from the east, due to deflection by the earth's magnetic field. From such considerations Vallarta has suggested that Mexico City

¹⁶ Para un estudio de estas expediciones y su impacto en la física en México, véase Mateos y Minor (2013).

should be a good place to search for the predicted asymmetry in the direction of the incoming cosmic rays. Besides being in the favorable zone of geomagnetic latitude (29°N), its elevation (2310 meters) is sufficient to avoid of the disturbing effects of the atmosphere.¹⁷



Manuel Sandoval Vallarta y Thomas Johnson (detrás de ellos, Carl Eckart).
Simposio de rayos cósmicos en la Universidad de Chicago, 1939. Foto: AHCMVSV.¹⁸

Louis Alvarez (1911-1988), estudiante de Compton en la Universidad de Chicago, y Thomas Johnson (1900-1998), investigador del Instituto Franklin, viajaron a México en 1933, donde tomaron mediciones de intensidad de rayos cósmicos de manera independiente.¹⁹ Para estas mediciones, ambos diseñaron contadores de coincidencias, un tipo de instrumento diferente al que Compton trajo consigo en su primera expedición. Este instrumento permitía asociar la intensidad de la ionización con la dirección de la que procedían los rayos cósmicos. Consistía, principalmente, de contadores tipo Geiger-Müller acoplados para detectar la intensidad de la radiación cósmica de manera simultánea.²⁰

¹⁷ “Si los rayos [cósmicos] están cargados positivamente, deben provenir en su mayoría del oeste, si son negativos, predominantemente del este, debido a la deflexión del campo magnético terrestre. A partir de estas consideraciones, Vallarta ha sugerido que la Ciudad de México sería un buen lugar para buscar esta asimetría predicha en la dirección de los rayos cósmicos entrantes. Además de estar en la zona de latitud geomagnética (29°N) conveniente, su elevación (2310 metros) es suficiente para evitar los efectos perturbadores de la atmósfera (Álvarez y Compton, 1933: 836).

¹⁸ AHCMVSV, sección Fototeca, subsección Congresos y Conferencias, serie Internacionales, subserie Fotografías, álbum 1, serie 1, expediente 1, unidad 1.

¹⁹ Johnson volvió a México en 1934, agregando en su itinerario a Perú y Panamá, con el objetivo mejorar la precisión de sus instrumentos (Johnson, 1935; Mateos y Minor, 2013).

²⁰ Este tipo de diseño permitiría hacer el contador sensible a cambios de dirección, como se requeriría para detectar el efecto azimutal. Con el fin de registrar la dirección en la que se detectaba un evento, se usó una cámara para tomar imágenes del arreglo experimental al momento. Éste era un uso diferente de la imagen que en el caso del medidor de rayos cósmicos, en que las imágenes en sí mismas constituían la evidencia del evento. Según Peter Galison (1997), el me-

Nuevamente, optaron por anunciar sus resultados preliminares, respectivamente, vía cartas al editor de la revista *Physical Review*. En éstas confirmaban un aumento en la intensidad de la radiación cósmica en dirección oeste, y con eso demostraban que los rayos cósmicos debían estar compuestos principalmente por partículas de carga eléctrica positiva. En ambas publicaciones, agradecían la colaboración de Sandoval Vallarta tanto en cuestiones de organización, como por sus sugerencias y asistencia en la ejecución de las mediciones.

Al año siguiente, Sandoval Vallarta, Bennet, Robert Dunglison Evans (1907-1995) y Joseph C. Boyce plantearon en el MIT un programa de investigación experimental sobre rayos cósmicos:

You will recall that one of us [Vallarta] has been occupied during the past summer with Dr. Johnson of the Bartol Foundation in testing the theory of direction of arrival of charged particles at the surface of the earth. Another of us [Bennett] has participated in the design and test of the Carnegie Institution's new intensity meters. There still remain many experiments to be made in testing the direction theory. Also we expect to continue work with one of the intensity meters here as soon as it is available. This brings up the question of whether the Institute should initiate a more extensive experimental cosmic ray research program of its own. Up to the present time those of us who have worked in this field have done so under the sponsorship of other institutions, taking our ideas elsewhere for test or application. We feel that it would be more satisfactory to us and to the Institute if we could carry out these ideas as institute projects.²¹

Este programa de investigación implicaba instalar un laboratorio de rayos cósmicos en altitudes elevadas, en la montaña Evans en Denver, Colorado.

didor de rayos cósmicos de Compton corresponde a la tradición de la imagen, mientras que el contador de coincidencias de rayos cósmicos se inscribe en la de la lógica.

²¹ "Recordará que uno de nosotros [Vallarta] se dedicó durante el verano pasado con el Dr. Johnson, de la Fundación Bartol, a probar la teoría de la dirección de llegada de partículas cargadas en la superficie terrestre. Otro [Bennett] ha participado en el diseño y prueba de nuevos medidores de intensidad para la Institución Carnegie. Todavía quedan muchos experimentos por hacer para probar la teoría de dirección. También esperamos continuar aquí este trabajo con uno de los medidores de intensidad [...], tan pronto esté disponible. Esto hace surgir la pregunta de si el Instituto debería iniciar un programa más amplio de investigación experimental de rayos cósmicos. Hasta este momento que hemos trabajado en este campo lo hemos hecho bajo el patrocinio de otras instituciones, llevando nuestras ideas a otros lugares para probarlas o aplicarlas. Creemos que sería más satisfactorio para nosotros y el Instituto si pudiéramos probar estas ideas como proyectos del Instituto" (AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 25, expediente 3, Memorandum de M. S. Vallarta, R. D. Bennett, R. D. Evans y J. C. Boyce para K. Compton, 27 de noviembre de 1934).

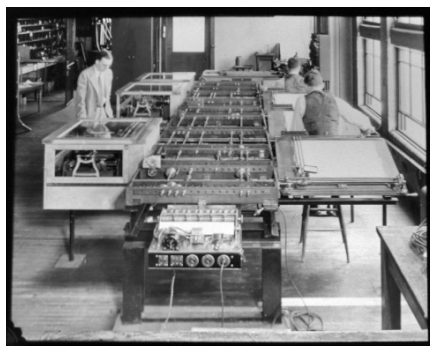
En este laboratorio, además de rayos cósmicos se haría investigación en temas astronómicos, especialmente del espectro ultravioleta de las estrellas, propuesta impulsada por el astrónomo de Harvard, Harlow Shapley (1885-1972). Por tanto, sería un programa en el que colaborarían investigadores del MIT, de la Universidad de Denver (J. C. Stearns, quien había colaborado en la expedición de Compton y estaría a cargo del laboratorio), de la Universidad de Harvard (Shapley), del Instituto Franklin (Johnson), de Caltech (Millikan y colaboradores) y de la Universidad de Chicago (Compton y colaboradores).²² En su propuesta, enfatizaron que este laboratorio sería el primero de su tipo en Estados Unidos destinado a temas de rayos cósmicos, mientras que en Europa existían dos: uno en Jungfrauoch (Suiza) y otro en Hafelekar (Austria). Para este proyecto, el MIT concedió un presupuesto de 1555 dólares e intermedió con autoridades y empresarios de Denver para conseguir financiamiento y apoyo en cuestión de infraestructura.

También Compton hacía gestiones para instalar estaciones de rayos cósmicos en altitudes elevadas con el apoyo de la CIW. Otras disciplinas contaban con este tipo de estaciones, y por eso en los inicios de la investigación en rayos cósmicos fue habitual usar instalaciones que se habían construido para la investigación en otras disciplinas (meteorología, astronomía, fisiología) (Korff, 1985). Uno de los lugares donde Compton buscaba instalar una estación de rayos cósmicos era en México, y para ello consultó a Sandoval Vallarta sobre dónde ubicarla:

As you know, these records will form part of a world-wide series which will include similar measurements made in New Zealand, Peru, Mexico, Washington and Greenland. By the comparison of results obtained with the various instruments, we hope to learn more definitely than is now possible how the cosmic rays vary with time in different parts of the world, and thus to find some explanation of the apparent fluctuations with solar and sidereal time. It would now appear that we may from such studies get important information regarding the origin as well as the nature of the cosmic rays. Anything that you and your Mexican friends can do to assist us in this program will be greatly appreciated.²³

²² AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 25, expediente 3, carta de Karl Compton a John Evans, 18 de diciembre de 1934.

²³ “Como ya sabes, estos registros formarán parte de una serie en todo el mundo, la cual incluirá mediciones similares realizadas en Nueva Zelanda, Perú, México, Washington y Groenlandia. Con la comparación de los resultados obtenidos con los diferentes instrumentos, esperamos aprender con mayor seguridad de lo que hoy es posible sobre cómo los rayos cósmicos varían con el tiempo en diferentes partes del mundo y entonces encontrar alguna explicación de las apa-



Analizador diferencial de Bush. Foto: AHCMSV.²⁴

Compton trabajaba entonces con Bennett en las pruebas de un tipo de instrumento parecido al que llevó en su gran expedición, pero adaptado a lo que implicaba el trabajo experimental en una estación permanente (Compton *et al.*, 1934). Este instrumento obtenía placas fotográficas y tenía un sistema para la automatización de las medidas. De esta manera, se podría llevar un registro de datos que permitiera acumular y concentrar información para un posterior análisis por Compton y su equipo en Estados Unidos.

Por su parte, Sandoval Vallarta continuó investigando sobre aspectos teóricos de la radiación cósmica, para lo cual usaba el analizador diferencial de Bush. Así lo hizo desde su primer artículo de rayos cósmicos con Lemaître, lo que les permitió calcular las trayectorias de partículas cargadas eléctricamente en interacción con el campo magnético terrestre, de acuerdo con sus ecuaciones.²⁵ El uso de esta máquina en la investigación en rayos cósmicos significó una de sus primeras aplicaciones más consistentes, contribuyendo

rentes fluctuaciones con respecto al tiempo solar y sideral. Ahora pareciera que a partir de estos estudios podremos obtener información importante relacionada con el origen y la naturaleza de los rayos cósmicos. Agradeceríamos enormemente cualquier cosa que tú y tus amigos mexicanos puedan hacer para ayudarnos en este programa" (AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 21, expediente 15, carta de Arthur H. Compton a Professor M. S. Vallarta, 22 de agosto de 1935).

²⁴ AHCMSV, sección Fototeca, subsección Rayos cósmicos, serie Producción Manuel Sandoval Vallarta, subserie Diapositivas en soporte de vidrio, álbum 14, expediente 1, unidad 1.

²⁵ El analizador diferencial de Bush era una calculadora electromecánica que, mediante unos complicados arreglos de circuitos y engranajes, podría obtener soluciones gráficas a ecuaciones diferenciales. Para eso, se debían "traducir" al lenguaje de la máquina los problemas matemáticos que se deseaban resolver. Los cálculos que esto implicaba resultaban demasiado complicados y eso contribuyó a que tuviera poco éxito entre ingenieros y científicos. El cálculo de las soluciones de la teoría Lemaître-Vallarta ocupó tan sólo trece personas y treinta semanas de trabajo (Owens, 1986: 77).

así a estandarizarla y darle legitimidad entre científicos e ingenieros. Los estudiantes que trabajaron con Sandoval Vallarta en temas de rayos cósmicos usaron también el analizador diferencial de Bush para realizar cálculos teóricos y obtener gráficas.

Entre sus estudiantes, Sandoval Vallarta tuvo a dos ingenieros mexicanos, Alfredo Baños (1905-1994) y Carlos Graef Fernández (1911-1988), a quienes apoyó en sus solicitudes de becas que presentaron en la Fundación Guggenheim, respectivamente, en 1935 y 1937. Ambos eran profesores asociados a la Escuela Nacional de Ingenieros y tenían como característica común haber realizado previamente estudios profesionales en el extranjero.²⁶ Con la beca Guggenheim financiarían sus estudios de doctorado en el MIT con Sandoval Vallarta (John Simon Guggenheim Memorial Foundation, 2016; 2013a). La Fundación Guggenheim había establecido un programa de becas dirigidas a latinoamericanos en 1929, siendo Alfonso Nápoles Gándara (1897-1992) el primer mexicano beneficiado con este apoyo, que utilizó para estudiar matemáticas, también en el MIT, donde trabajó con Struik, quien fue invitado a impartir un seminario en México, por sugerencia de Nápoles Gándara y con la ayuda de Sandoval Vallarta como intermediario. Struik, además, proporcionaría a Baños una de sus cartas de recomendación para apoyar su solicitud de beca en la Fundación Guggenheim. Otros becarios de la Guggenheim, orientados en cuestiones científicas y procedentes de México, fueron Nabor Carrillo (1911-1967) en 1940 y Jaime Lifshitz (1904-1959) en 1942 (Minor, 2009: 56-57). Este grupo de becarios se concentró primordialmente en el MIT y en la Universidad de Harvard. Especialmente, Nápoles Gándara, Baños, Graef y Carrillo serían fundamentales en la formación de instituciones científicas en México.

Además de Baños (1938) y Graef (1940), Sandoval Vallarta asesoró las tesis de licenciatura de Edward Jay Schrepf en 1934 y de Henry Paul Koenig (1917-1994) en 1940, de maestría de Shuichi Kusaka (1915-1947) en 1938 y de doctorado de Schrepf en 1937 y Reina Albagli (1911-1955) en 1937. Todos ellos desarrollaron proyectos de investigación en rayos cósmicos. Aunque en el caso de Richard Feynman (1918-1988) no fue supervisor de su tesis, publicaron un artículo sobre ese tema, que de hecho fue su primer artículo especializado

²⁶ Baños había obtenido el doctorado en ingeniería en la Universidad de Johns Hopkins (Collazo y Herrera, 2008). Graef, que había cursado la educación básica en el Colegio Alemán en México, comenzó sus estudios de ingeniería en la Escuela Técnica Superior de Darmstadt y los terminó en la Escuela Nacional de Ingenieros de la UNAM (Fernández y Mondragón, 1993).

en física (Sandoval y Feynman, 1939). Además, recibió en estancias postdoctorales a Félix Cernuschi (1907-1999) y a Ernesto Sábato (1911-2011), quienes fueron becados por la Asociación Argentina para el Progreso de la Ciencia, así como a Louis Philippe Bouckaert (1909-1988) y Odon Godart (1913-1996), ambos estudiantes de Lemaître becados por la Belgian American Foundation. Un aspecto notable y curioso en cuanto a los estudiantes que asesoró es que, en su mayoría, se trató de extranjeros (argentinos, belgas, canadienses y mexicanos). De esta manera, intentó formar un grupo de investigación en rayos cósmicos.

En cuanto a Baños y Graef, el plan trazado por Sandoval Vallarta y Monges López era que encabezarían los esfuerzos por crear instituciones de investigación científica una vez que volvieran a México. En consecuencia, Monges López justificó su propuesta de creación del Instituto de Física y Matemáticas en la UNAM, señalando que Baños estaba por terminar sus estudios de doctorado en física y que a su regreso se encargaría de la dirección de este nuevo instituto.²⁷ Por su parte, Graef se integró al equipo del Observatorio Astrofísico de Tonantzintla, donde próximamente se instalaría un telescopio construido en la Universidad de Harvard con el apoyo del astrónomo Harlow Shapley (Bartolucci, 2000). Sandoval Vallarta fue muy cercano a todos estos esfuerzos de consolidación e institucionalización de la ciencia en México. Se mantuvo pendiente e informado a través de lo que le comunicaban sus aliados. Baños, de vuelta en México, le escribía directamente para informarle de sus avances en investigaciones y publicaciones que había comenzado durante su doctorado en el MIT, y también para contarle sobre el curso de las gestiones en la UNAM para crear el Instituto de Ciencias Físicas y Matemáticas.²⁸

Por su parte, Luis Enrique Erro (1897-1955), quien sería el director fundador del Observatorio Astrofísico de Tonantzintla, le enviaba cartas en las que, además de intercambiar opiniones sobre la política en México, le contaba sobre sus planes para el nuevo observatorio, refrendando que esperaba contar con Graef para ponerlo en marcha.²⁹

²⁷ AHUNAM, fondo Universidad Nacional, ramo Rectoría, caja 39, expediente 458, foja 6185-6187, carta de Ricardo Monges López al rector de la UNAM, Luis Chico Goerne, 1º de diciembre de 1937.

²⁸ AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 20, expediente 12, carta de Alfredo Baños a Manuel Sandoval Vallarta, 21 de diciembre de 1938.

²⁹ AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 26, expediente 24, carta de Luis Enrique Erro para Manuel Sandoval Vallarta, 11 de noviembre de 1939.

Aunado a la formación de mexicanos especializados en la investigación en rayos cósmicos, hubo planes de adquirir instrumentos e instalarlos permanentemente en México para llevar a cabo investigación experimental en rayos cósmicos. En 1937, Monges López, Compton y Sandoval Vallarta promovieron un acuerdo de cooperación entre la Escuela Nacional de Ciencias Físicas y Matemáticas de la UNAM (creada el año anterior y de la cual era director el primero), la Universidad de Chicago y el MIT.³⁰ En principio, estas universidades estadounidenses enviarían los instrumentos científicos, mientras que la UNAM proveería un local y personal que se encargara de tomar mediciones de intensidad de radiación cósmica. En realidad, Compton donó algunos contadores Geiger-Müller, mientras que otros más fueron comprados al MIT y contruidos por Robert Evans. Con estos contadores, Sandoval Vallarta y Monges López planeaban que se construyera en México un contador de coincidencias, similar al que diseñó Johnson.³¹

Además, Compton consiguió instalar su estación de rayos cósmicos en México, ubicada en la estación magnética del Observatorio Astronómico Nacional en Teoloyucan, Estado de México, siguiendo las sugerencias que recibió de Sandoval Vallarta:

I think I have now found a suitable location for the cosmic ray meter. It is the magnetic observatory at Teoloyucan, about 30 miles N. of Mexico City, which has been in continuous operation since 1908. There is available a permanent observer there who is more or less versed in the handling of photographic materials and the care of scientific instruments. His duties there include removing and replacing, also developing, the photographic record of the automatic self-recording magnetometers [...]. Other data concerning the observatory as follows: lat. 19° 45' N, long. 99° 11' W, elevation 2280m. Magnetic data (average) for the past five years Decl. 9° 37' E Incl. 42° 7' N, H 31 000 V 33 400. It is a main line railroad station on both the El Paso and Laredo lines.³²

³⁰ AHUNAM, fondo Universidad Nacional, ramo Rectoría, caja 39, expediente 455, foja 5604, informe de Ricardo Monges López al rector de la UNAM, Luis Chico Goerne, sobre las actividades de la Escuela Nacional de Ciencias Físicas y Matemáticas, 2 de julio de 1937.

³¹ AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 20, exp. 12.

³² "Creo que he encontrado un lugar adecuado para el contador de rayos cósmicos. Es el Observatorio Magnético en Teoloyucan, a unas 30 millas al norte de la Ciudad de México, que ha estado en operación continua desde 1908. Ahí hay disponible un observador permanente que está más o menos familiarizado con el manejo de materiales fotográficos y el cuidado de instrumentos científicos. Sus funciones incluyen retirar y sustituir, también revelar, registros fotográficos con los magnetómetros automatizados [...]. Otros datos del observatorio son los siguientes: latitud 19°45', longitud 99°11', elevación 2280 m, datos magnéticos (promedio) durante los últimos cinco años,

Esta estación comenzó a funcionar en 1937. Para ello, Compton personalmente llevó a México el medidor de rayos cósmicos, del tipo que había diseñado con Bennett, y supervisó su instalación. Después, la idea era que científicos locales y técnicos se encargarían de su operación. Por entonces, también trabajaba en la instalación de un contador de rayos cósmicos en el observatorio magnético de Huancayo, en Perú (Giesecke y Casaverde, 1998).

De esta manera, Compton intentaba establecer una red de estaciones de rayos cósmicos. Hacia 1937, habían distribuido contadores de rayos cósmicos, modelo C, en Cheltenham (Maryland), Huancayo (Perú) y Christchurch (Nueva Zelanda), a cargo del Comité de Rayos Cósmicos de la CIW, otro en el MIT a cargo de Bennett, el de Teoloyucan (México) a cargo del Observatorio Astronómico Nacional, otro más que estaba en pruebas para instalarlo en Groenlandia y un séptimo que iba a bordo de una embarcación.³³ Esta red de estaciones permitiría monitorear simultáneamente cambios en la intensidad de la radiación cósmica en una amplia distribución geográfica.



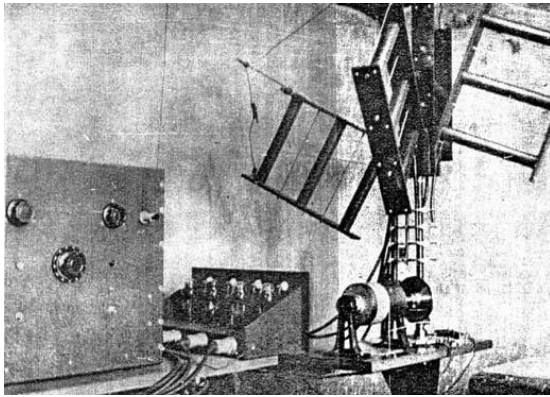
Medidor de rayos cósmicos, modelo C, instalado en Teoloyucan, Estado de México. 26 de julio, 1938. Foto: CIS Archives.³⁴

declinación $9^{\circ}37'$ Este, Inclinación $42^{\circ}7'$ Norte, H 31 000 [intensidad de la componente horizontal del campo magnético], V 33 400 [intensidad de la componente vertical del campo magnético]. Se trata de una estación de ferrocarril de vía principal para ambas líneas de El Paso y Laredo" (AHCMSV, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 21, expediente 6, carta de M. S. Vallarta para Arthur H. Compton [borrador], 30 de octubre de 1935).

³³ CIS Archives, Carnegie Administration Files, record group Committees, caja 10, fólder 2 "Committee: Cosmic Ray Investigation 1933-1937", "Report to the Carnegie Institution of Washington" por Arthur Compton.

³⁴ CIS Archives, Department of Terrestrial Magnetism Photographic Collection 1904-Present, Series 2, Instruments, Box A-15, No. 5058.

Una vez que se aprobó la creación del Instituto de Ciencias Físicas y Matemáticas a finales de 1938, Baños retomó el proyecto de construir un contador de coincidencias para la UNAM.³⁵ Sandoval Vallarta intermedió en la compra de los contadores Geiger-Müller construidos por Evans en el MIT. Finalmente, el contador de coincidencias fue ensamblado por el ingeniero eléctrico mexicano Manuel Perrusquía Camacho, con la asistencia de Fernando Alba Andrade, entonces estudiante de física en la UNAM (de hecho, el primer físico formado en México).³⁶



Contador de coincidencias construido en el Instituto de Física de la UNAM (ca. 1938).
Foto: *Historia gráfica del Instituto de Física de la UNAM* (1988).

El contador fue instalado en un salón de la azotea de la Escuela Nacional de Ingenieros, en el Palacio de Minería, donde el instituto de Baños tenía algunos salones prestados para llevar a cabo sus actividades. Sería usado para medir el efecto azimutal, pero principalmente permitiría a esta comunidad de científicos mexicanos incursionar en las investigaciones experimentales de rayos cósmicos. Éste sería uno de los principales temas de investigación que darían sentido al nuevo instituto.

³⁵ Originalmente se llamó Instituto de Ciencias Físicas y Matemáticas, y en 1939 se le cambió el nombre a Instituto de Física.

³⁶ Fernando Alba Andrade (1919) realizó estudios de física desde la licenciatura hasta el doctorado en México. Llegó a ser director del Instituto de Física fundado por Baños. Estuvo encargado del montaje del acelerador Van de Graaff, que fue adquirido por la UNAM en 1950, con financiamiento del gobierno mexicano. El acelerador fue construido por la High Voltage Engineering Corporation, por Robert Van de Graaff, colega de Sandoval Vallarta que llegó en 1930. Alba Andrade recibió asesoría en el MIT con William Buechner, en el Laboratory for Nuclear Science. Esto muestra cómo se dio continuidad a las conexiones con el MIT (Minor, 2011).

Baños también continuó el trabajo teórico que había iniciado en el MIT.³⁷ Además, se distinguió por el empeño que puso en conseguir financiamiento para el Instituto frente a circunstancias de constante falta de recursos. Por un lado, Baños consiguió donaciones de la Fundación Rockefeller que le permitieron adquirir instrumentos para instalar un laboratorio de medidas de precisión y talleres (Minor, 2009).

Por otro lado, gestionó la donación, por parte de la Universidad de Harvard, de equipo para instalar un laboratorio de mecánica de suelos, como una iniciativa impulsada por Arthur Casagrande, quien dirigía la tesis de doctorado de Nabor Carrillo. Lo anterior muestra el tipo de apoyos recibidos por algunas instituciones científicas en México, bien por fundaciones privadas (principalmente la Rockefeller), la Fundación Guggenheim y la CIW, o por instituciones de educación superior como el MIT o la Universidad de Harvard, aunque en su caso no se trataba de una política institucional explícita y específica volcada en las relaciones científicas con Latinoamérica, sino de esfuerzos individuales. Por ejemplo, he indicado ya las diversas maneras en que Sandoval Vallarta contribuyó a la creación de conexiones con el MIT alrededor de la investigación en rayos cósmicos. En el caso del observatorio de Tonantzintla, contó con el apoyo de Harlow Shapley, de Harvard. También, George David Birkhoff, matemático de Harvard, encontró interés en México sobre su teoría de gravitación y, en respuesta, apoyó la solicitud para una beca Guggenheim para Jaime Lifshitz.

En relación con el estudio de los rayos cósmicos, personas, instrumentos y prácticas transitaron entre México y Estados Unidos. En un inicio, el programa fue relevante para el entendimiento de los rayos cósmicos, según la agenda de investigación de Compton. Con la mediación de Sandoval Vallarta, la investigación de rayos cósmicos encontró un terreno fértil en la comunidad de ingenieros mexicanos, para la cual fue un instrumento para materializar su esfuerzo conjunto por crear instituciones académicas especializadas en física y matemáticas.

De esta manera, las expediciones de rayos cósmicos estimularon las conexiones de colaboración entre una comunidad de físicos estadounidenses y una comunidad de ingenieros mexicanos que sumaba esfuerzos para crear ins-

³⁷ AHUNAM, fondo Memoria Universitaria, sección Rectoría, "Informe que rinde el rector de la UNAM al H. Consejo Universitario sobre las actividades desarrolladas por la Universidad hasta el 1° de febrero de 1939".

tituciones de investigación científica en México. Los rayos cósmicos también permitieron tener acceso a instrumentos científicos para la investigación, así como apoyaron la formación profesional y científica de algunos estudiantes mexicanos, financiados por instituciones privadas de Estados Unidos. Más ampliamente, la investigación en rayos cósmicos en los años treinta potenció la integración de Latinoamérica en la red internacional de estaciones de rayos cósmicos (Giesecke y Casaverde, 1998; Guzmán, 2011; Mateos y Minor, 2013).

Sin embargo, este terreno fértil de la investigación en rayos cósmicos perdió fuerza en los cuarenta. Ya en 1939, Sandoval Vallarta señalaba la falta de fondos como uno de sus principales problemas para continuar con sus investigaciones, por lo que solicitó financiamiento a la CIW (de la cual Bush era presidente en ese entonces) para cubrir los costos de operación del analizador diferencial y de salarios para sus asistentes de investigación. La CIW le otorgó un presupuesto por 1,500 dólares, que estaría disponible a partir del año siguiente.³⁸ A pesar de eso, después de 1940, Sandoval Vallarta no tuvo más estudiantes asesorados, quizá porque el nuevo analizador diferencial aún no estaba listo para usarse con el presupuesto de la CIW, además de que los físicos que formó reorientaron sus intereses de investigación.³⁹ Por ejemplo, Albagli optó por incorporarse al grupo de investigación que desarrollaba el radar, en lo que fue uno de los proyectos de guerra más importantes del MIT. Baños, después de renunciar al Instituto de Física en 1942, en medio de una acusación de plagio de un libro, también se incorporó al equipo del radar en el Radiation Laboratory.⁴⁰

Por su parte Graef, quien llegó a ser director del Instituto de Física tres años después de la renuncia de Baños, se dedicó desde entonces a la teoría de la gravitación de Birkhoff. En el caso de Ernesto Sábato, poco después de volver a Argentina decidió dedicarse a la literatura. Por su parte, Kusaka estudió el doctorado en Berkeley y luego se trasladó a Princeton, donde trabajó en teorías de las fuerzas nucleares.

³⁸ CIS Archives, DTM General Files, serie 1, subserie 2, folder "Vallarta M S, 1939", carta de John Adam Fleming (director del DTM) al prof. M. S. Vallarta, 21 de septiembre de 1939.

³⁹ Sandoval Vallarta esperaba que estuviera listo un nuevo analizador diferencial que estaba en construcción (MIT Archives, Office of the President AC4, Box 228, fólдер 3 "Vallarta Manuel S. 1932-1947", carta de Manuel S. Vallarta para Karl Compton, 23 de noviembre de 1939).

⁴⁰ De hecho, atribuyó a Sandoval Vallarta el rumor que circulaba en México de que debía haber tenido la nacionalidad estadounidense para poder trabajar en ese proyecto de guerra; no es de extrañar que terminaran distanciados (Minor, 2009).

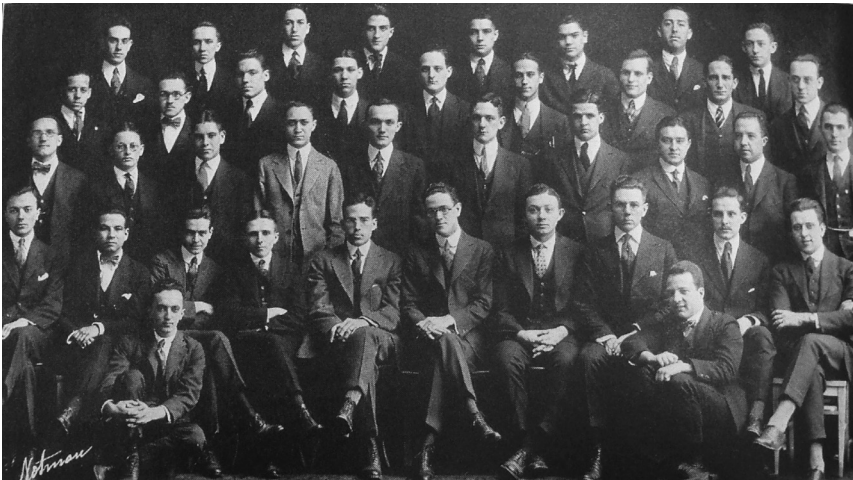
Lo anterior indica que Sandoval Vallarta no logró consolidar un grupo de investigación de rayos cósmicos que tuviera continuidad. Por otro lado, el interés en los rayos cósmicos por parte de la física nuclear decayó con la incursión de los aceleradores de partículas, mediante los cuales, de hecho, se podían generar de manera artificial las desintegraciones que antes sólo se podían obtener en las detecciones de rayos cósmicos. Aun así, la investigación en rayos cósmicos continuó ofreciendo nuevas claves para la física nuclear y de partículas, como cuando César Lattes encontró evidencia de la existencia de una partícula, en otro laboratorio de rayos cósmicos en altitudes elevadas en Chacaltaya (Bolivia) (Ribeiro, 1998). Las estaciones de rayos cósmicos en Latinoamérica integraron una colección de datos importante para detectar variaciones en largos periodos de tiempo y eventos anómalos, como explosiones solares.

En cuanto a Compton, volvería a hacer un extenso viaje por Latinoamérica una década después de su gran expedición, pero en esa ocasión financiado por la Oficina del Coordinador de Asuntos Interamericanos. Además de supervisar las estaciones de rayos cósmicos en la región, este viaje tenía por objetivo fortalecer las relaciones de Estados Unidos con Latinoamérica, lo que se convirtió en un asunto estratégico en el contexto de la guerra.

En 1939, Millikan viajó a Bangalore, India, debido a su interés en tomar mediciones en una zona cercana al Ecuador geomagnético. Al respecto, Itty Abraham ha reflexionado sobre la importancia del lugar como una ventaja en contextos científicos periféricos, no como algo dado, sino como algo a lo que se da forma en circunstancias, contextos y condiciones particulares, que en el caso de India se entremezcla con la formación de su paisaje poscolonial (Abraham, 2000). En el caso de Latinoamérica, he indicado cómo las características geofísicas de la región significaron una ventaja para la investigación de rayos cósmicos y cómo, alrededor de esta investigación, se consiguió establecer estaciones y formar científicos en el tema. Además, los rayos cósmicos fueron útiles para dar forma a un “paisaje interamericano”, lo cual es notorio durante y después de la segunda guerra mundial, en un escenario internacional en el que era importante fomentar las relaciones hemisféricas y la cooperación científica internacional. Los rayos cósmicos representaron, entonces, un instrumento para articular a Latinoamérica a través de la investigación, por las características geofísicas de la región, pero también por la infraestructura que ya existía en México y otros países como Argentina, Bolivia, Brasil y Perú.

Relaciones científicas e integración hemisférica

La investigación en rayos cósmicos constituyó una plataforma para la integración entre físicos de Estados Unidos y Latinoamérica. En el caso de Sandoval Vallarta, le permitió incluir en su programa de investigación a mexicanos y argentinos. La correspondencia que se conserva en su archivo personal da cuenta de los intercambios que mantuvo con algunos científicos latinoamericanos. Por ejemplo, en 1940 Ramón Loyarte, director del Instituto de Física de la Universidad de La Plata, donde trabajó Sábato al volver a Argentina, lo contactó para consultarle sobre instrumentos de medición de radiación cósmica que planeaba adquirir: “Suponemos que con tal equipo [un contador de coincidencias construido por Evans en el MIT] estaremos en condiciones de realizar en este extremo del continente las primeras medidas sobre radiaciones cósmicas, cooperando así a los trabajos en lo que Uds. se hallan empeñados”. Ese mismo año, Bernardo Houssay, fisiólogo de la Universidad de Buenos Aires, en calidad de presidente de la Asociación Argentina para el Progreso de la Ciencia, le escribió para pedirle que recibiera a Augusto José Durelli, quien sería visitante en el MIT becado por esta asociación.⁴¹



Latin American Club, 1922, MIT. Manuel Sandoval Vallarta se ubica el tercero en la segunda fila, de izquierda a derecha. Foto: *Technique* (1922: 244).

⁴¹ MIT Archives, Office of the President AC4, Box 228, fólder 3 “Vallarta Manuel S. 1932-1947”, carta de Manuel S. Vallarta para Karl Compton, 31 de enero de 1940.

Por su parte, Gleb Wataghin (1899-1986), físico italo-ruso radicado en Brasil y director del Departamento de Física de la Universidade de São Paulo, lo invitó a participar en un simposio de rayos cósmicos que organizó en 1941. Era conocido entre los científicos latinoamericanos por sus contribuciones en el tema de los rayos cósmicos y esto se muestra con las invitaciones que recibió para dar conferencias sobre el tema en una gira por diferentes países de Latinoamérica, que en principio realizaría en 1942.

Esta voluntad de contribuir, desde Estados Unidos, en favor de la ciencia en Latinoamérica tiene que ver con sus expresiones de afinidad con el discurso de la integración latinoamericana. Sandoval Vallarta dejó indicios en esa dirección, aunque sin manifestarlo explícitamente, como en 1919, cuando siendo estudiante de Ingeniería Electroquímica en el MIT se afilió al Club Latinoamericano que reunía a estudiantes de la región que estudiaban en esta institución.⁴² Continuó como miembro de este club mientras estudiaba el doctorado y aun cuando fue nombrado profesor asociado, aunque entonces su nombramiento fue de *frater in facultate*; de hecho, el único con ese título (quizá porque no había más latinoamericanos entre el profesorado del MIT) (*Technique*, 1925: 421).

En 1932, mientras acompañaba a Compton en su expedición de rayos cósmicos, Sandoval Vallarta fundó y presidió la Unión Latinoamericana, zona México, como parte de la fraternidad de estudiantes latinos en Estados Unidos, Phi Iota Alpha.⁴³ En esta organización también participaron como comisionados Rutilio Torres Saldaña y Viviano L. Valdés, ambos mexicanos y egresados del MIT. La fraternidad Phi Iota Alpha se estableció en 1931, y fue la primera que reunió estudiantes y profesionales de origen latinoamericano que habían estudiado o estudiaban en Estados Unidos. Según sus estatutos, su función primordial era “laborar intensamente por la unión económica y política de los veintiún países latinoamericanos”.⁴⁴ Alrededor de su afiliación

⁴² El Latin American Club del MIT fue creado en 1916. Antes de que Sandoval Vallarta se integrara a este club, en 1919, perteneció al Cosmopolitan Club, que reunía a extranjeros en general. También fue integrante de otras asociaciones estudiantiles, como la de química, de tiro con rifle y el club cristiano.

⁴³ AHCMVS, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 21, expediente 5, “Unión Latinoamericana Zona México. Constitución provisional aprobada en sesión de 7 de septiembre de 1932”, 26 de agosto de 1932.

⁴⁴ Los países latinoamericanos a los que se refieren son Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, Guatemala, Haití, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Paraguay, Perú, Puerto Rico, El Salvador, Santo Domingo, Uruguay y Venezuela.

a esta fraternidad, fue contactado por familias que le pedían apoyo en favor de estudiantes latinoamericanos que deseaban ingresar al MIT o que, estando ahí, tenían alguna dificultad. Identificarse como latinoamericano implicaba que se viera en él a un aliado para ese colectivo.

En el marco de los espacios del sistema interamericano, que incluía la Unión Panamericana y la realización de reuniones temáticas, se llevó a cabo una serie de congresos científicos.⁴⁵ Sandoval Vallarta asistió al menos a las conferencias científicas americanas celebradas en Lima (1924), Ciudad de México (1935) y Washington, D. C. (1940) (Sandoval, 1925).⁴⁶ Estos congresos, que se organizaron como otras reuniones diplomáticas promovidas desde la Unión Panamericana, tuvieron una función política de construcción de la unidad hemisférica (Fuchs, 2002). Reunían a delegaciones en representación de los países, designadas por las respectivas oficinas de relaciones exteriores. Al menos, el gobierno estadounidense indicó a sus delegados que debían tener presente que su participación en estos encuentros era en representación de su gobierno, con los compromisos políticos que eso implicaba (Fuchs, 2002). En el congreso organizado por el gobierno de México en septiembre de 1935, Sandoval Vallarta fue designado representante del MIT y de la American Association for the Advancement of Science (AAAS).⁴⁷ También acudió en

⁴⁵ De este tipo de congresos se realizaron ocho en total. El primero fue organizado por la Academia de Ciencias de Argentina en 1898, le siguieron los de Montevideo en 1901 y Río de Janeiro, entre diciembre de 1905 y enero de 1906; el cuarto se efectuó en Santiago de Chile en 1908-1909 (primero al que el gobierno de Estados Unidos envió delegados); el quinto tuvo lugar en Washington, D. C., en 1915-1916; el sexto en Lima, Perú, en 1925-1926; el séptimo en México, D. F., en 1935, y el último se celebró nuevamente en Washington, D. C., en 1940. La organización del Séptimo Congreso Científico recayó sobre el gobierno de México, encabezado por Lázaro Cárdenas del Río, en conjunto con las secretarías de Estado de Asuntos Exteriores, de Economía y de Educación Pública (Atkins, 1997; Fuchs, 2002).

⁴⁶ AHCMVS, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 21, expediente 15, carta de Karl Compton para Manuel Sandoval Vallarta, 19 de julio de 1935.

⁴⁷ AHCMVS sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 21, expediente 15, "Carta de Karl Compton a Manuel Sandoval Vallarta, 9 de julio de 1935.". Además de los delegados oficiales designados directamente por el gobierno de Estados Unidos, el Departamento de Estado solicitó a universidades y sociedades científicas de ese país que enviaran representantes, esto a través de la American Association for the Advancement of Science, la cual era presidida por Karl Compton, entonces también presidente del MIT. (Marvin, 1935) De ahí que Sandoval Vallarta fuera también invitado por la American Mathematical Society para fungir como delegado, aunque al respecto mostró un poco de resistencia arguyendo que no sabía si sería problemático representar a demasiadas instituciones (AHCMVS, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 26, expediente 26, "Carta de Manuel Sandoval Vallarta al Profesor R.C.D. Richardson de la Universidad de Brown, 1° de agosto de 1935").

representación de la Academia Nacional de Ciencias “Antonio Alzate” (ANCAA, antes Sociedad Científica “Antonio Alzate”).⁴⁸

Es notable que Sandoval Vallarta representara al mismo tiempo a instituciones estadounidenses y mexicanas, y muestra precisamente cómo transitaba entre ambas naciones sin que hasta ese momento fuera motivo de conflicto. Para la ANCAA, Sandoval Vallarta estaba entre sus más destacados afiliados y por eso tenía sentido convocarlo como representante, mientras que para el MIT y la AAAS nombrarlo era una solución práctica: se trataba de uno de sus miembros de origen mexicano que, además, tenía programado un viaje por México para acompañar a Johnson en una de sus expediciones para medir rayos cósmicos.

Aunque no existen escritos suyos que indiquen explícitamente algún discurso de reivindicación latinoamericanista, sus acciones expresan maneras de asociación y compromiso en ese sentido. Además, a través de su participación en organizaciones de construcción latinoamericana y hemisférica tuvo oportunidad de establecer relaciones y darse a conocer entre los científicos latinoamericanos, aunado a las posibilidades que tuvo al alcance con la investigación en rayos cósmicos y que le permitieron articular conexiones científicas desde Estados Unidos. Por eso, no es del todo extraño que, en una situación de estancamiento en sus investigaciones debido en parte al contexto bélico, Sandoval Vallarta optara por contribuir al esfuerzo de guerra precisamente desde su capacidad de mediador entre comunidades científicas de Estados Unidos y Latinoamérica.

Esto fue producto de sus acciones en esa dirección, pero también fue orillado por unas condiciones históricas, sociales y culturales que al mismo tiempo le impidieron participar en el esfuerzo de guerra desde la investigación científica y le hicieron posible una intervención a través de los mecanismos de la diplomacia estadounidense, que abanderaron el discurso de la solidaridad hemisférica durante la segunda guerra mundial como una estrategia de seguridad nacional.

⁴⁸ AHCMVS, sección Personal, subsección Correspondencia, serie Científica, caja 21, expediente 6, “Oficio de la Academia Nacional de Ciencias Antonio Alzate para el Dr. José Aguilar Álvarez, Ing. Ezqueir Ordóñez, Ing. Lorenzo Pérez Castro, Ing. Julio Riquelme Inda, Ing. Pastor Bousix y Dr. Manuel Sandoval Vallarta, 19 de agosto de 1935”.