

La red internacional de rayos cósmicos, Manuel Sandoval Vallarta y la física en México

G. Mateos

*Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades, UNAM,
4° piso Torre II de Humanidades, Ciudad Universitaria, México D.F., 04510,
e-mail: gisela.mateos@unam.mx*

A. Minor

*Posgrado en Filosofía de la Ciencia, UNAM, Unidad de Posgrado, Edificio G,
primer nivel, Circuito de Posgrados, Ciudad Universitaria, México, D.F., 04510.
e-mail: adrianaminorg@ciencias.unam.mx*

Received 8 February 2013; accepted 27 November 2013

En 1932 Arthur Holly Compton organizó una gran expedición por el norte de Canadá, Michigan, Illinois, Hawaii, Nueva Zelanda, Australia, Perú y México con el propósito de establecer una red internacional de estaciones de rayos cósmicos para estudiar la distribución geográfica de los rayos cósmicos. En esta expedición se coordinó a un grupo de especialistas distribuidos por distintas rutas de viaje. Para organizar la red de rayos cósmicos fue necesario establecer contactos con personas e instituciones en los lugares donde se iban a tomar las medidas. Además, se requirió de la construcción y estandarización de los instrumentos científicos y las técnicas para tomar medidas. La circulación de instrumentos científicos, personas y prácticas fueron esenciales para llevar a cabo esta expedición.

México fue uno de los lugares donde habrían de tomarse medidas de intensidad de rayos cósmicos. Esto ocurrió con la intervención de Manuel Sandoval Vallarta, quien en ese momento era profesor asociado del Massachusetts Institute of Technology (MIT), y con la colaboración de un grupo de ingenieros de la Universidad Nacional Autónoma de México. A finales de la década de los 30s esta colaboración se convirtió en un factor clave para la creación del primer instituto de física en México.

Descriptores: Rayos cósmicos; redes científicas internacionales; Manuel Sandoval Vallarta; Arthur Compton; instrumentos científicos.

As part of the establishment of an international cosmic ray network for studying the geographical distribution of cosmic rays, in 1932 Arthur Holly Compton organized a huge expedition to North Canada, Michigan, Illinois, Hawaii, New Zealand, Australia, Peru, and Mexico. In this expedition a group of experts was coordinated and distributed by different travel routes. For arranging this cosmic ray network it was necessary to contact with people and institutions at the local places where the measurements were to be taken. Also, it was implied the construction and standardization of instruments, as well as the techniques to take measurements. Circulation of scientific instruments, persons and practices were essential for executing the expedition.

Mexico was one of the places where the cosmic ray measurements were taken. It was through intervention of Manuel Sandoval Vallarta (who at the moment was Associate Professor of the Physics Department at the MIT) that this could be done. Also, a group of engineers from the University of Mexico participated in this task. At the end of the thirties, this collaboration was used as a key factor for the creation of the first institute of physics in Mexico.

Keywords: Cosmic rays; international scientific networks; Manuel Sandoval Vallarta; Arthur Compton; scientific instruments.

PACS: 01.65. +g

1. Atlas mundial de rayos cósmicos

A principios de la década de los treinta, Robert Millikan de la Universidad de California y Arthur Compton de la Universidad de Chicago, dirigían sus respectivos grupos de investigación sobre el origen y composición de los rayos cósmicos, ambos financiados por la Carnegie Institution of Washington (CIW). Cada grupo tenía diferentes prácticas experimentales y de diseño y construcción de instrumentos, además de que defendían diferentes hipótesis sobre los rayos cósmicos. Millikan argumentaba que los rayos cósmicos estaban compuestos por fotones, mientras que Compton sugería que eran partículas cargadas [1]. Para resolver esta controversia, Compton consideró fundamental tomar medidas a diferentes latitudes, lo cual implicaba realizar expediciones coordinadas, de manera análoga a las realizadas por la CIW para hacer el mapa del magnetismo terrestre.

A principios del siglo XX la CIW se embarcó en el mapeo del magnetismo terrestre y para ello creó el Department of Terrestrial Magnetism (DTM) que coordinó y centralizó varias expediciones mundiales entre 1904 y finales de la segunda guerra mundial. Como ha argumentado Gregory Good, el DTM se convirtió en una “fábrica de expediciones” que fue promovida por Louis Agricola Bauer desde 1908 [2]. Este gran esfuerzo implicó el diseño y construcción de instrumentos científicos, el entrenamiento de personas en el manejo de éstos para la toma de las mediciones y el establecimiento de contactos con personas locales en los lugares donde se iban a realizar las mediciones, los cuales colaboraron como técnicos o como guías. Esta experiencia sirvió como modelo de expediciones mundiales realizadas de manera simultánea, coordinada y centralizada como la que Compton pretendía realizar.

Las condiciones generadas por la CIW a partir del mapeo del magnetismo terrestre agregaron una ventaja importante para las expediciones de rayos cósmicos propuestas por Compton: la red de estaciones magnéticas establecida por la CIW en Latinoamérica, una región que no había sido considerada para medir rayos cósmicos. Por ejemplo, en Huancaayo, Perú [3], se estableció un observatorio magnético propiedad del DTM; en México, entre 1906 y 1908, las primeras medidas magnéticas fueron realizadas en la Ciudad de México por el Observatorio Astronómico Nacional (OAN) y en 1914 se construyó la Estación Magnética de Teoloyucan para continuar con estas mediciones [4]. A pesar de que el DTM aportó la mayor parte del financiamiento y concentraba los datos obtenidos en esta estación, se mantuvo como parte del OAN [5]. En Perú y México los instrumentos que se usaron para tomar las medidas magnéticas fueron diseñados y donados por la CIW, mismos que eran manejados por el personal asociado a las estaciones. Dicho personal fue entrenado en el uso de magnetómetros para medir el magnetismo terrestre. Debido a que los instrumentos para medir los rayos cósmicos tenían características similares a los usados para las medidas magnéticas, especialmente en el caso de un instrumento científico conocido como el ‘cosmic ray meter’, estos técnicos de las medidas magnéticas estaban calificados para encargarse de las mediciones de rayos cósmicos, con lo cual les era posible moverse entre las prácticas experimentales asociadas al magnetismo terrestre y a los rayos cósmicos.

En 1932, de una manera análoga a las expediciones de magnetismo terrestre, Compton organizó ocho grupos que habrían de realizar las medidas de rayos cósmicos en diferentes latitudes [6]. Estos grupos se distribuyeron por regiones, cada uno de los cuales estaba a cargo de un experto:

1. J. C. Stearns, de la University of Denver, y A. H. Compton, de la University of Chicago, en Colorado y Suiza.
2. A. H. Compton, de la University of Chicago, en Hawaii, Nueva Zelanda, Australia, Panamá, Perú, México, norte de Canadá, Michigan e Illinois.
3. R. D. Bennett, del Massachusetts Institute of Technology, en Alaska, California, Colorado y Cambridge.
4. E. O. Wollan, de la University of Chicago, en Chicago, Spitzbergen y Suiza.
5. Allen Carpe, de la New York City University, en Alaska.
6. S. M. Naude, de la University of Capetown, en Sudáfrica.
7. J. M. Benade, del Forman Christian College (Lahore), en India, Ceilán, Malasia, Java, Ladakh.
8. P. G. Ledig, del DTM (CIW), en Sudamérica.

Estos grupos llevaban los mismos instrumentos científicos y equipo adicional para tomar las medidas de intensidad de radiación cósmica. Previamente, Compton y R. D. Bennett, diseñaron una cámara de ionización portátil por sus características de peso y tamaño (tanto como puede ser un instrumento científico que pesa 125 kg). La justificación del diseño tenía como argumento principal las características de portabilidad del instrumento científico: “la cámara [de ionización] se construyó pequeña, de 10 cm de diámetro, con el fin de que el peso de las capas protectoras no fuera muy grande para su transportación” [7]. Construyeron siete instrumentos de este tipo, los cuales fueron previamente calibrados en el laboratorio y distribuidos entre los encargados de cada expedición. Una ventaja de las expediciones de rayos cósmicos, respecto a las de medidas magnéticas, es que podían ser tomadas en las ciudades y no necesariamente en sitios remotos.

El objetivo primordial de estas expediciones era tomar medidas de intensidad de rayos cósmicos a diferentes latitudes geográficas, con el fin de corroborar la hipótesis de que los rayos cósmicos estaban constituidos por partículas cargadas. Los resultados preliminares, que todavía no incluían las medidas en Perú, Panamá y México, fueron anunciados por Compton en mayo de 1932 en una carta al editor de la revista *Physical Review*: “Esta carta es el primer reporte de un programa extenso que involucra mediciones similares realizadas por muchos físicos en distintas partes del mundo” [8].

Para organizar su viaje por México, Compton contactó a Manuel Sandoval Vallarta, quien le recomendó sitios apropiados para tomar las medidas de rayos cósmicos: “Estaré muy contento de ayudarlo tanto como pueda. Sugiero el Nevado de Toluca para tomar las mediciones de rayos cósmicos. Con gusto haré los arreglos para el transporte” [9]. Sandoval Vallarta recibió a Compton y lo acompañó en su viaje por territorio mexicano, además de funcionar como vínculo con las autoridades mexicanas, lo mismo que con la comunidad local de ingenieros, quienes mostraron un gran interés en las investigaciones sobre rayos cósmicos. Es importante señalar que en 1932, Sandoval Vallarta trabajaba como profesor asociado en el departamento de Física del MIT, [10] institución donde se había formado y había afianzado su carrera como físico teórico. Hasta este momento no había realizado estudios sobre los rayos cósmicos. A pesar de que se encontraba en el MIT, mantenía una estrecha relación con la comunidad científica de México, en particular con los miembros de la Sociedad Científica Antonio Alzate [11] (SCAA) y los ingenieros de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En su primer viaje por México, Compton impartió una conferencia sobre rayos cósmicos, para la SCAA, la Sociedad de Geografía y Estadística y la Sociedad de Ingenieros y Arquitectos. Con esta conferencia presentó su investigación a la comunidad científica mexicana, entre cuyos miembros se encontraban Ricardo Monges López y Sotero Prieto, quienes se formaron originalmente como ingenieros civiles por la Escuela Nacional de Ingenieros aunque sus actividades e intereses profesionales eran más afines a la geofísica y las matemáticas, respectivamente. Estos dos personajes

fueron fundamentales para impulsar la creación de la facultad (1937) e institutos de investigación de matemáticas y física (1938) en la Universidad. Como se verá más adelante, su interés en la profesionalización e institucionalización de la física y las matemáticas encontró un empuje fundamental en el programa de investigación en rayos cósmicos.

Después del viaje por México, Compton continuó su expedición y Sandoval Vallarta regresó al MIT. Este primer encuentro llevó a Sandoval a interesarse por el estudio del efecto de latitud en los rayos cósmicos. En el MIT se reencontró con Georges Lemaître [12] con quien trabajó en una explicación teórica del efecto de latitud [13] y cuyos resultados fueron publicados en 1933 en el *Physical Review* [14]. Lemaître y Sandoval Vallarta trabajaron de manera intensa para dar esta explicación, como se muestra en la siguiente carta que le envió Sandoval Vallarta a Nathan Rosen, con quien había colaborado antes:

“Lemaître y yo trabajamos intensamente a lo largo del mes en el problema del efecto de latitud de la radiación cósmica. No creo que nunca antes haya trabajado tan duro [...] Ahora nuestro artículo está terminado y ayer lo enviamos a Tate [editor del *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 de una mezcla de partículas cargadas y sin carga, que llegan a la tierra desde el infinito y en todas direcciones” [15].

Con estos resultados, validaron la hipótesis de Compton y dieron una justificación teórica a las medidas tomadas en las expediciones. De esta manera el encuentro de Compton y Sandoval fue fructífero para ambos.

Los resultados finales de las medidas tomadas en todas las expediciones, fueron publicadas por Compton en el artículo de 1933 “A Geographic study of Cosmic Rays”. Este artículo mencionaba explícitamente la conexión con el artículo de Sandoval y Lemaître, al afirmar que los datos se explicaban cuantitativamente sobre la teoría de la interacción de partículas cargadas con el campo magnético terrestre [16]. A su vez, Sandoval y Lemaître asociaban su teoría a la hipótesis del efecto de latitud de Compton:

“Es claro que el efecto de latitud descubierto por Compton es atribuible a las componentes cargadas de la radiación cósmica [...] En este artículo se va a mostrar que la variación experimental de la intensidad con la latitud, es atribuible a la radiación cósmica si esta consiste, al menos en parte, a electrones (o protones) con una energía del orden de 10^{10} electron-volts” [17].

De manera casi paralela, Compton publicó un artículo con J. J. Hopfield en la *Review of Scientific Instruments* donde hacían una descripción detallada del instrumento científico denominado por ellos como ‘cosmic ray meter’ y el dispositivo experimental, ambos diseñados específicamente para las expediciones; de esta manera validaban y aseguraban su autoría [18]. Los diferentes artículos publicados en relación con las expediciones de rayos cósmicos se usaron en conjunto para demostrar el efecto de latitud. La alianza de argumentos

teóricos, experimentales y de instrumentos científicos robusteció esta demostración y fortaleció a los grupos que participaron en este esfuerzo.

2. Otras expediciones a México

No obstante que con las expediciones de 1932 se había validado la hipótesis de Compton, se organizaron expediciones adicionales; sin embargo, la motivación de éstas fue diferente ya que se quería detectar el efecto azimutal de la radiación cósmica como una predicción de la teoría Lemaître-Vallarta. Si este efecto se podía medir, entonces sería posible sostener que los rayos cósmicos estaban constituidos principalmente por partículas cargadas positivamente. Sandoval Vallarta impulsó la idea de que era apropiado tomar estas medidas en México, respaldado por Compton:

“Si los rayos están positivamente cargados, deberían de llegar principalmente del oeste, si fueran negativos, del este. A estas latitudes, han fallado muchos experimentos en mostrar alguna diferencia apreciable. Sin embargo, nuestras curvas de distribución geográfica indican que en latitudes más hacia el sur, como México, estas diferencias deberían de aparecer. En consecuencia, Alvarez, de la Universidad de Chicago, y Johnson, de la Bartol Research Foundation, han estado trabajando de manera independiente en la Ciudad de México y ambos han reportado una predominancia definitiva de los rayos cósmicos provenientes del oeste” [19].

En 1933, Luis Alvarez y Thomas Johnson viajaron a México para realizar, de manera separada, estas nuevas mediciones [22]. Nuevamente Sandoval Vallarta y algunos colegas mexicanos [23] se involucraron en las gestiones y en algunas ocasiones asistieron en la realización de los experimentos. Debido a que las medidas azimutales requerían otro tipo de instrumentos, Johnson diseñó y construyó nuevos instrumentos científicos y experimentos. Construyó un contador de coincidencias de rayos cósmicos que consistía de varios contadores Geiger-Muller acoplados de tal manera que solo detectaban partículas cuando eran excitados de manera simultánea, permitiendo así distinguir los rayos cósmicos primarios de los secundarios. Además, con este diseño, era posible ajustar los contadores en diferentes direcciones, lo que era fundamental para la detección del efecto azimutal.

En un artículo de 1933, Compton anunció que el efecto azimutal había sido confirmado por las medidas de Alvarez y Johnson. Al siguiente año, este último publicó el reporte de los datos tomados en sus expediciones por México, Panamá y el observatorio magnético en Huancayo, Perú [24]. En 1934, Johnson organizó otra expedición para aumentar la certeza de las medidas tomadas con anterioridad [25]. En colaboración con Lewis Fussell y E.C. Stevenson. Para ello, en colaboración con Lewis Fussell y E. C. Stevenson, modificaron el diseño del contador de coincidencias de rayos cósmicos respecto al usado en la expedición del año anterior. El nuevo diseño consistía de catorce grupos de tres contadores Geiger Müller colocados de manera circular sobre su eje

axial, orientando la mitad de estos grupos hacia el hemisferio este y la otra hacia el oeste. Adicionalmente, contaba con otros cinco Geiger-Müller acomodados en el eje central del dispositivo [26]. Este nuevo instrumento científico era más complejo que aquel usado por Johnson en su primer viaje por México y Perú. Esperaba que con este instrumento de mayor sensibilidad podría obtener datos más precisos y así resolver inconsistencias que se habían encontrado en las mediciones realizadas en su expedición anterior.

Algunos ingenieros mexicanos se incorporaron a las expediciones en México, a veces ayudando con el uso de los instrumentos y registrando los datos. Es importante señalar que hasta entonces ninguno de los instrumentos científicos usados en las expediciones de rayos cósmicos fueron instalados de manera permanente en México. Fue hasta 1937 cuando se instaló un ‘cosmic ray meter’ quedando a cargo de técnicos y profesionales mexicanos, véase la Tabla I. Desde 1934, Compton había planeado establecer una estación de rayos cósmicos en México y para ello consultó con Sandoval Vallarta sobre cuál podría ser la mejor ubicación, a lo que Sandoval respondió:

“Creo que he encontrado una locación para el cosmic ray meter, es el observatorio magnético de Teoloyucan, a 15 millas al norte de la Ciudad de México, que ha estado en operación continua desde 1908. Hay un observador permanente que es más o menos versado en el manejo de materiales fotográficos y el cuidado de instrumentos científicos. Sus deberes incluyen quitar, revelar y reemplazar la cintas fotográficas de los magnetómetros...” [27].

Sandoval Vallarta era consciente de la importancia de tener una persona que hubiera desarrollado ciertas habilidades

técnicas para dejarle a cargo de las medidas de intensidad de rayos cósmicos. Por su parte, Compton opinaba que para realizar mediciones de rayos cósmicos era más económico otorgar una beca de entrenamiento a un profesional mexicano y luego dotarlo del equipo necesario, en vez de enviar personal especializado de los Estados Unidos [28]. Se decidió que la antigua Estación Magnética de Teoloyucan sería el sitio adecuado para instalar un ‘cosmic ray meter’ y así continuar con las observaciones del efecto de latitud. Finalmente, en 1937 dicha estación comenzó a funcionar dentro de la red de estaciones de radiación cósmica impulsada por Compton, quien personalmente se encargó de guiar la instalación de los instrumentos científicos. Considérese que paralelamente se estaba promoviendo la instalación de un ‘cosmic ray meter’ en la antigua estación magnética de Huancayo, [29] Perú, con lo cual se fortalecía la red de rayos cósmicos en América Latina.

Aunado a lo anterior, en 1937 se firmó un acuerdo de colaboración entre el MIT, la Universidad de Chicago y la Escuela Nacional de Ciencias Físicas y Matemáticas de la UNAM, el cual fue promovido por Sandoval Vallarta, Compton y Monges López. Este acuerdo implicaba la construcción e instalación en la Ciudad de México de un contador de coincidencias de rayos cósmicos. El MIT y Chicago se encargarían de suministrar equipo para la construcción del contador, mientras que la UNAM aportaría las instalaciones y el personal calificado para tomar las medidas. Era un instrumento científico semejante al diseñado por Johnson que consistía de contadores Geiger Müller y que sería usado para medir el efecto azimutal de los rayos cósmicos. Éste fue instalado en la parte más alta del Palacio de Minería, en un salón donde también se encontraba la estación meteorológica. Aunque

TABLE I. Expediciones de rayos cósmicos y viajes a México [30]

Fecha	Líderes de expedición	Instrumentos	Lugares	Colaboradores mexicanos	Financiamiento	Objetivos
Agosto 1932	Arthur H. Compton	Cosmic ray-meter	Veracruz, Orizaba (Veracruz); Cd. de México, Nevado de Toluca (Edo. de México)	Manuel Sandoval Vallarta	CIW; Universidades de Chicago, Denver, y Hawaii; MIT; Auckland University College; the Rumford Fund; the Radium Service Corporation of America; y el gobierno de Nueva Gales del Sur	Probar el efecto de latitud
Marzo a abril 1933	Luis Alvarez	Contador de doble coincidencia	Cd. de México	Manuel Sandoval Vallarta	CIW	Detectar el efecto de la asimetría este-oeste
Marzo a abril 1933	Thomas Johnson	Contador de doble coincidencia	Azotea del Hotel Genève en la Cd. de México	Manuel Sandoval Vallarta, Ricardo Monges López y José de la Macorra	CIW y la Bartol Research Foundation del Franklin Institute	Detectar el efecto de la asimetría este-oeste

Septiembre a octubre 1934	Thomas Johnson y Lewis Fussel	Seven coincidence-counter	Copilco y San Rafael (Cd. de México); Veracruz; Nevado de Toluca (Edo. de México); y Parral (Chihuahua)	Manuel Sandoval Vallarta, Dr. César R. Margain y Ricardo Monges López	CIW (Cosmic-Ray Committee)	Medir el efecto de la asimetría este-oeste
1937	Manuel Sandoval Vallarta	Equipo para construir un contador de coincidencia triple	Escuela Nacional de Ingenieros, UNAM	Ricardo Monges López, Jorge Graf, Efrén Casillas, Alfredo Baños, y Manuel Perrusquia	MIT, University of Chicago Universidad Nacional de México	Instalación de estación de rayos cósmicos en el edificio de la Escuela Nacional de Ingenieros para mediciones de la asimetría este-oeste.
1937	Arthur Compton	Cosmic ray meter	Teoloyucan (Estado de México)	Alfonso Vaca y Joaquín Gallo	CIW (Cosmic-Ray Committee)	Instalación de instrumentos para medición de la intensidad de los rayos cósmicos en el Observatorio Magnético de Teoloyucan
1941	Arthur Compton		Teoloyucan (Estado de México)	Alfredo Baños y Joaquín Gallo	CIW (Cosmic-Ray Committee)	Para calibrar instrumentos de la Estación de Teoloyucan

Minería era la sede de la Escuela Nacional de Ingenieros, se permitió la instalación de esta Estación de Rayos Cósmicos, así como la asignación de algunos salones destinados a la Escuela Nacional de Ciencias Físicas y Matemáticas (Facultad de Ciencias a partir de 1938) y más tarde al Instituto de Física.

A principio de la década de los cuarenta había dos sitios donde se tomaban medidas de rayos cósmicos en México: la estación de Teoloyucan y el Palacio de Minería. Cada uno contaba con un tipo de instrumento científico específico destinado a propósitos diferentes: para medir el efecto de latitud con el 'cosmic ray meter' y el efecto azimutal con el contador de coincidencias, respectivamente. Estas estaciones establecidas en México contribuyeron al registro de datos para entender la dinámica y composición de los rayos cósmicos. Asimismo, sirvieron para impulsar la colaboración científica entre comunidades de Estados Unidos y México.

3. La materialización de la física en México

Durante 1933, la investigación en rayos cósmicos continuó en el MIT. En particular, Lemaître y Sandoval Vallarta comen-

zaron a hacer cálculos sobre su teoría utilizando el analizador diferencial que había inventado Vannevar Bush, [31] aunque tenían dudas sobre su aplicabilidad al problema: "El programa inmediato para los meses que siguen es tratar de mejorar nuestros resultados actuales sobre rayos cósmicos utilizando la máquina de Bush. Todas las integraciones que hemos hecho han sido integrales numéricas punto por punto, por lo que nuestra precisión no es muy alta. No estoy muy seguro de que esta máquina trabaje de manera satisfactoria para este problema" [32].

A partir de la importancia que adquirió la teoría Lemaître-Vallarta, el prestigio de Sandoval Vallarta creció y esto le permitió impulsar que un grupo de ingenieros mexicanos se formaran como físicos teóricos y se especializaran en el estudio de rayos cósmicos. Para ello, Sandoval Vallarta apoyó que se les otorgaran becas de la Fundación Guggenheim para realizar estudios de posgrado en universidades de Estados Unidos, en particular en MIT. Los primeros en obtener dicha beca fueron Alfredo Baños (1935) y Carlos Graef (1937). Ambos realizaron el doctorado en física teórica con tesis dirigidas por Sandoval Vallarta sobre estudios teóricos de rayos cósmicos, haciendo uso del analizador diferencial de Bush. No obstante

que en México no hubo físicos titulados hasta 1938 cuando Baños regresó, los ingenieros civiles tenían una formación teórica en materias de física y matemáticas que les daba herramientas suficientes para realizar estudios de posgrado en física.

Con el regreso de Baños, la comunidad científica mexicana logró impulsar y concretar que la Universidad de México creara la Facultad de Ciencias y un Instituto de Física y Matemáticas. La creación de estas instituciones fue resultado de un largo proceso y para conseguirlo se siguieron diversas estrategias y alianzas, una de las cuales fue la creación, en 1933, de la Sociedad Para el Progreso de la Ciencia en México presidida por Monges López y Sandoval Vallarta y cuyos objetivos principales eran “El establecimiento de la Facultad de Ciencias en nuestra Universidad y el estímulo a la investigación científica en general y en particular, son dos de nuestros puntos principales de trabajo, habiendo coincidido la reorganización de la Universidad con el comienzo de nuestros trabajos y de esta suerte la oportunidad ha sido excelente para lograr que se funde tal Facultad” [33]. Monges López y otros universitarios que compartían sus intereses participaron en el plan de la reorganización de la Universidad, posterior al movimiento de autonomía. La creación de la escuela de ciencias y algunos institutos fueron incluidos en este plan, aunque esto no sucedió de manera inmediata. Monges López continuó estas gestiones por años, hasta que durante la rectoría de Luis Chico Goerne (1935-1938) solicitó de manera directa “Que se cree en el año 1938 el Instituto de Investigaciones Físicas y que se nombre director del mismo al Dr. En Ciencias Alfredo Baños, Profesor de física en nuestra Universidad que acaba de terminar sus estudios de perfeccionamiento en el Instituto de Tecnología de Massachusetts” [34].

A finales de 1938 se inauguró el Instituto de Ciencias Físicas y Matemáticas, que al año siguiente se convirtió en el Instituto de Física (IF), y Baños fue nombrado como su primer director [35]. Desde el MIT Sandoval Vallarta se mantuvo al tanto de estos eventos a través de la información que Baños como director le hacía llegar: “No le había escrito antes debido a que quería darle detalles completos de la organización que, gracias a los esfuerzos de nuestro buen amigo Don Ricardo Monges López, ahora empieza a funcionar poco a poco. Mi primer acto oficial como director del Instituto de Ciencias Físicas y Matemáticas es escribirle esta carta a mi buen amigo y jefe” [36]. El área primordial del IF era la investigación de rayos cósmicos ligada a los intereses de Sandoval Vallarta e incluía investigación teórica y experimental. Baños continuó con el trabajo que había realizado en MIT y dio continuidad a la construcción del contador de coincidencia de rayos cósmicos que había comenzado en 1937, al mismo tiempo que se instalaba el ‘cosmic ray meter’ de Teoloyucan. El contador de coincidencias no fue construido en su totalidad en México pues Baños optó por importar los contadores Geiger-Muller: “Dado que la construcción de los contadores es una tarea muy delicada, y aquí ninguno de nosotros conocemos la técnica, yo preferiría enormemente, al menos por esta ocasión, aceptar su amable oferta de en-

viárnoslos en el entendido de que al hacer esto el Instituto no incurre en gastos negligentes” [37]. Estos contadores fueron contruidos por Robley D. Evans, quien era miembro del Departamento de Ingeniería y Física del MIT. El acuerdo para esta compra fue llevado a cabo con la mediación de Sandoval Vallarta [38].

Finalmente, el contador de coincidencias fue diseñado y armado por el ingeniero Manuel Perrusquía, con la asistencia de Fernando Alba Andrade, entonces estudiante de física en la Escuela de Ciencias de la UNAM [39]. El primer artículo que se publicó con los resultados de las mediciones hechas con este contador fue presentado en el Congreso Científico Interamericano, que se llevó a cabo en Washington en mayo de 1940. Durante la siguiente década se publicaron tres artículos más relacionados a los resultados obtenidos con el contador. Considerando que rayos cósmicos era su línea de investigación más robusta, la casi inexistencia de publicaciones en el tema es ilustrativa de la situación del Instituto de Física, que logró su consolidación hasta los años 50 con el programa de física nuclear.

4. Discusión

El estudio de los rayos cósmicos en los años treinta hizo que circularan entre Estados Unidos y México, en una dirección y en otra, de ida y vuelta, personas, instrumentos científicos y prácticas científicas. Se buscaba entender el origen, la dinámica y composición de los rayos cósmicos. Colectivamente, las expediciones que pasaron por México desde 1932, propiciaron la vinculación entre los diferentes intereses de los participantes. Para Compton y el grupo que lideraba, las expediciones eran definitivamente relevantes no sólo para comprender qué eran los rayos cósmicos, sino también para promover su programa de investigación en rayos cósmicos y con ello extender sus redes de colaboración hacia Latinoamérica. Por su parte, un grupo de técnicos y profesionales mexicanos (la mayoría de ellos formados originalmente como ingenieros civiles, eléctricos o topógrafos) se involucraron cada vez más en la investigación en rayos cósmicos. Asistieron y colaboraron en las mediciones de intensidad llevadas a cabo por Compton, Johnson y Alvarez y con ello se familiarizaron con los instrumentos y experimentos en rayos cósmicos, facilitando así su transición al estudio y especialización en estos temas. Precisamente, la investigación en rayos cósmicos representó una vía por la cual los ingenieros mexicanos, principalmente Baños y Graef, llegaron a profesionalizarse en física hacia finales de los años treinta. Con esto, adicionalmente a la adquisición de instrumentos científicos, se logró establecer en México un programa de investigación en rayos cósmicos, lo cual dio un sentido concreto a la creación de instituciones de investigación especializadas en física y matemáticas, que finalmente se hizo realidad en 1938. Así, las expediciones de rayos cósmicos vincularon y retribuyeron a todos los participantes.

En los experimentos de rayos cósmicos realizados entre 1932 y 1934 se usaron dos tipos diferentes de instrumentos

científicos: el ‘cosmic ray meter’ y el ‘contador de coincidencias de rayos cósmicos’. El primero de ellos, usado principalmente para medir el efecto de latitud, pertenece a la tradición de la imagen, como sugiere Peter Galison, que está relacionada con la producción de imágenes en la cámara de niebla y que a partir de una sola imagen, denominada el evento de oro, se confirma la existencia, por ejemplo, de una partícula como fue el caso del positrón; mientras que el segundo pertenece a la tradición de la lógica, que se basa en la detección de radiación con contadores y que por análisis estadístico confirman la existencia del objeto estudiado [40]. El Instituto de Física se desarrolló alrededor del contador de coincidencias y de los estudios teóricos en rayos cósmicos. Simultáneamente, la estación magnética de Teoloyucan continuó las mediciones del efecto de latitud con el ‘cosmic ray meter’ que había sido donado por Compton; estos trabajos tenían mayor cercanía con la manera, es decir las prácticas, de medir la intensidad magnética terrestre.

De esta forma, la investigación en rayos cósmicos se vinculó de manera fundamental con la profesionalización de la física en México, en lo cual Sandoval Vallarta fungió como

un mediador activo y esencial para generar cercanía y colaboración entre una comunidad de físicos estadounidenses y científicos mexicanos. Cuando Compton, Alvarez y Johnson estuvieron en México, se encontraron con una importante comunidad de ingenieros, entre los que estaban Monges López, Carlos Graef y Alfredo Baños. Sandoval Vallarta estrechó sus alianzas con este grupo de ingenieros y en conjunto generaron las condiciones para que se fortaleciera la red científica en rayos cósmicos y que México adquiriera un lugar en esta red. La posibilidad de construir instrumentos y realizar medidas en México, permitió hacer investigación en física experimental. A finales de los años treinta, el Instituto de Física concentró sus actividades en la construcción de un contador de coincidencias, que junto con el trabajo teórico volvió a los rayos cósmicos en la razón de ser de esta incipiente comunidad de físicos. En este sentido, el Instituto de Física fue resultado de muchas circunstancias, pero la posibilidad de tener instrumentos, personal especializado y una línea de investigación en rayos cósmicos le dio un soporte material y discursivo a la profesionalización e institucionalización de la física en México.

1. Para un estudio detallado de esta controversia ver: M. De Maria y A. Russo, *Hist. Stud. in the Phys. and Biol. Sciences* **19** (1989) 211; D. Cassidy, *Hist. Stud. in the Phys. Sci.* **12** (1981) 1; Galison, Peter, *Centaurus* **50** (2008) 105.
2. Gregory A. Good, *Geological Society, London, Special Publications* **287** (2007) 395.
3. A. Giesecke M y M. Casaverde R., *Revista Geofísica* **49** (1998) 9.
4. La estación magnética estaba localizada en Teoloyucan a 36 km de la Ciudad de México. En 1921 adquirió un variómetro Mascart, un magnetómetro Dover, un galvanómetro Edelman y una balanza magnética. Para 1929, había adquirido un CIW-magnetómetro (desarrollado en la Carnegie Institution de Washington) y en 1931 algunos variómetros Eschenhagen. (Fondo Observatorio Astronómico Nacional, exp. 6.7, Sección: Estudios Geográficos, Serie: Magnetismo Joaquín Gallo “Informe de trabajo magnético”, junio 30 1927).
5. Fue hasta 1922 que Joaquín Gallo, entonces director del OAN, obtuvo financiamiento para la expedición para tomar datos magnéticos en México y de esta manera hacer el mapa magnético. Esta expedición terminó en 1929 y los datos fueron tomados por Rosendo Sandoval. (Fondo Observatorio Astronómico Nacional, Exp. 6.7, Sección Estudios Geográficos, Serie: Magnetismo Joaquín Gallo “Resultados de la expedición magnética de 1922”).
6. A. Compton, *Phys. Rev.* **43** (1933) 387.
7. *Ibid* p. 388-9.
8. A. Compton, *Phys. Rev.* **41** (1932) 113.
9. Archivo Histórico Científico Manuel Sandoval Vallarta (AHC-MSV). Sección: Personal. Subsección: correspondencia. Serie: científica, caja: 30. exp: 9. marzo 15, 1932. Telegrama de Manuel Sandoval Vallarta a Arthur Compton.
10. Sandoval Vallarta era parte de la comunidad de físicos teóricos del MIT. Como muchos otros, viajó a Europa a estudiar física con el apoyo de una beca Gugenheim. A finales de los años 20 el MIT estaba en un proceso de reorganización, para reforzar las áreas de investigación científica, como lo señala el presidente del MIT, Samuel Wesley Stratton, en una carta a Sandoval Vallarta, quien se encontraba en Alemania: “...I entirely agree with you as to the importance of giving more attention to contemporary development in theoretical physics and correlated experimental work, and it is for that reason that several of you are abroad and that we have been bringing additional men to the Institute”. AHC-MSV. Sección: Personal. Sub-sección: Correspondencia. Serie: Scientific. Caja: 25. Exp: 4., Marzo 30, 1928.
11. M. Sandoval Vallarta, Conferencia dictada en el *Congreso de la Sociedad Mexicana de Física*. Morelia, México, noviembre 17, 1972.
12. Sandoval Vallarta y George Lemaître se conocieron en el MIT en 1924, año en que Lemaître llegó a Estados Unidos. Lemaître, de origen Belga, obtuvo el doctorado en ciencias en el MIT en 1926, siendo Sandoval Vallarta parte del comité que dictaminó su tesis doctoral.
13. Lemaître estaba interesado en explicar el origen del Universo; de hecho era reconocido por su contribución a la cosmología; mientras que Sandoval Vallarta conseguiría afianzar su prestigio científico a través de la contribución teórica en rayos cósmicos.
14. G. Lemaître, George y M. Sandoval Vallarta, *Phys. Rev.* **43** (1933) 87.
15. AHC-MSV. Sección: Personal. Subsección: correspondencia. Serie: científica caja: 23. exp: 3. Fecha: noviembre 17, 1932. Carta de Manuel Sandoval Vallarta a Nathan Rosen.
16. Op. Cit vi p. 387.

17. G. Lemaître, y M. Sandoval Vallarta, *Phys. Rev.* **43** (1933) 87.
18. A. Compton y J. J. Hopfield, *Rev. Sci. Instrum.* **4** (1933) 491.
19. A. Compton, "The Significance of Recent Measurements of Cosmic Rays". Conferencia dictada en la *Meeting of the American Association for the Advancement of Science and Associated Societies*. (Chicago, United States, mayo 19, 1933).
20. En 1932 Luis Alvarez, estudiante Compton en la Universidad de Chicago, diseñó un telescopio de rayos cósmicos usando contadores Geiger-Muller.
21. Johnson trabajaba en la Bartol Research Foundation del Franklin Institute, del cual W.F.G. Swann era director. Una de sus líneas de investigación fue la medición de rayos cósmicos con detectores en globos aéreos. Además, Johnson había trabajado con J.C. Street utilizando contadores y cámaras de niebla en lo que Matteo Leoni ha descrito como un aparato híbrido. M. Leone *Am J. Phy.* **79** (2011) 454.
22. L. Alvarez, y A. Compton, *Phys. Rev.* **43** (1933) 835. T.H. Johnson, *Phys. Rev.* **45** (1934) 569.
23. En el caso mexicano hay una interesante transformación de los ingenieros – civiles y eléctricos, principalmente en el ejercicio profesional como físicos y matemáticos. Es importante notar que la formación profesional de físicos y matemáticos se estableció en la UNAM y en México hasta la creación de la Facultad de Ciencias en 1938. Tan solo, el primer físico titulado por la Facultad Ciencias fue Fernando Alba Andrade, quien obtuvo el grado en 1943. Entre los nombres de ingenieros que colaboraron en las mediciones de rayos cósmicos se encuentran Alfonso Vaca Alatorre, formado como ingeniero topógrafo, Joaquín Gallo formado como ingeniero geógrafo Manuel Perrusquía Camacho, ingeniero eléctrico; además de Ricardo Monges López, ingeniero civil, Alfredo Baños, ingeniero eléctrico, y Carlos Graef, ingeniero civil.
24. T.H. Johnson, *Phys. Rev.* **45** (1934) 569.
25. T.H. Johnson, *Phys. Rev.* **48** (1935) 287.
26. T.H. Johnson y J.C. Street, *Phys. Rev.* **42** (1932) 142.
27. AHC-MSV. Sección: Personal. Sub-sección: Correspondencia. Sección: Científica. Caja: 21. Exp: 6. Fecha: octubre 30, 1935. Borrador de carta de Sandoval Vallarta a Arthur Compton.
28. E.L. Ortiz, *Saber y Tiempo* **4** (2003) 53.
29. J. Ishitsuka, y H. Trigoso, "Cosmic Rays in Peru". Conferencia dictada en *Third School on Cosmic Rays and Astrophysics*, Arequipa, Perú, agosto 25 - septiembre 5, 2008.
30. Esta tabla fue realizada por las autoras, recopilando información de los artículos y fuentes primarias que se mencionan a lo largo del texto. Especialmente se usaron los artículos publicados donde se reportaban los resultados de las expediciones y en los cuales se incluye información como dónde se realizaron las medidas y se dan los nombres de personas que colaboraron. Sobre estos últimos, es posible que sólo se refieran a personas que ayudaron en las gestiones para la expedición pero que no participaron directamente en los experimentos, como se puede intuir por el perfil profesional en el caso de Efrén Casillas, Jorge Graf, Carlos Margáin y José de la Macorra. Asimismo, para la elaboración de la tabla se usaron informes oficiales de actividades anuales emitidos por instituciones de la UNAM.
31. Estos cálculos fueron de los primeros en realizarse con el analizador. Esto fue posible ya que Bush era colega de Sandoval en MIT.
32. AHC-MSV. Sección: Personal, Sub-sección: correspondencia, serie: científica, caja 23, exp. 3 Fecha: 17 de noviembre 1932. Carta de Manuel Sandoval Vallarta a Nathan Rosen.
33. AHC-MSV. Sección: Personal. Subsección: correspondencia. Serie: científica. caja: 23. exp: 3. Fecha: Diciembre 16, 1933. Carta oficial de Agustín Aragon Leiva a Manuel Sandoval Vallarta.
34. Archivo Histórico de la UNAM. Fondo Universidad Nacional. Sección: Rectoría. caja: 39, exp: 458. Fecha: 1° de diciembre 1937. Carta de Ricardo Monges López a Luis Chico Goerne.
35. En 1939 el Instituto se separó en el de Física y Matemáticas, respectivamente; Baños se mantuvo como director del primero hasta su renuncia en 1943.
36. AHC-MSV. Sección: Personal. Subsección: correspondencia. Serie: científica. caja 26. exp: 24. Fecha: marzo 22, 1938. Carta de Alfredo Baños a Manuel Sandoval Vallarta.
37. AHC-MSV. Sección: Personal. Subsección: correspondencia. Serie: científica. caja: 20. exp: 12. Fecha: diciembre 21, 1938. Carta de Alfredo Baños a Manuel Sandoval Vallarta.
38. AHC-MSV. Sección: Personal. Subsección: Correspondencia. Serie: científica. caja: 20. exp: 12. Fecha: diciembre 28, 1938. Carta de Manuel Sandoval Vallarta a Alfredo Baños.
39. Fernando Alba Andrade fue el primer físico en obtener el grado en la Facultad de Ciencias de la UNAM.
40. P. Galison, *Image and Logic. A Material Culture of Microphysics* 1st ed. (University of Chicago Press, Chicago, 1997).