

ANALES  
DE LA  
**SOCIEDAD CIENTÍFICA**  
ARGENTINA

AÑO 2022 - VOLUMEN 273 - N° 2 - 2022

Indizada en Biodiversity Heritage Library, Smithsonian Institute (USA),  
en el Natural History Museum Library (UK) y en la  
Ernst Mayr Library de Harvard University (USA)



Avenida Santa Fe 1145 - Ciudad Autónoma de Buenos Aires  
Tel 4816-4745/5406 - E-mail: [sociedad@cientifica.org.ar](mailto:sociedad@cientifica.org.ar) - [www.cientifica.org.ar](http://www.cientifica.org.ar)

## EXPRESIDENTES DE LA SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

1872-1874 Ing Luis A Huergo	1911-1912 Ing Vicente Castro
1874-1875 Dr Juan J I Kyle	1912-1913 Gral Dr Agustín Álvarez
1875-1877 Ing Pedro Pico	1913-1914 Ing Santiago E Barabino
1877-1878 Ing Guillermo White	1914-1915 Dr Francisco P Lavalle
1878-1879 Ing Luis A Huergo	1915-1917 Ing Nicolás Besio Moreno
1879-1880 Dr Valentín Balbín	1917-1919 Dr Carlos María Morales
1880-1881 Dr Carlos Berg	1919-1923 Ing Santiago E Barabino
1881-1882 Ing Luis A Huergo	1923-1927 Ing Eduardo Huergo
1882-1883 Dr Carlos Berg	1927-1929 Ing Nicolás Besio Moreno
1883-1885 Ing Guillermo White	1929-1933 Dr Nicolás Lozano
1885-1886 Ing Luis A Viglione	1933-1937 Ing Nicolás Besio Moreno
1886-1887 Dr Estanislao Zeballos	1937-1943 Ing Jorge W Dobranich
1887-1889 Dr Valentín Balbín	1943-1946 Dr Gonzalo Bosch
1889-1891 Dr Carlos Maria Morales	1946-1949 Ing José M Paez
1891-1892 Ing Eduardo Aguirre	1949-1951 Ing Dr Eduardo María Huergo
1892-1893 Dr Juan J I Kyle	1951-1956 Dr Abel Sánchez Díaz
1893-1894 Ing Carlos Bunge	1956-1959 Dr Eduardo Braun Menéndez
1894-1895 Ing Miguel Iturbe	1959-1962 Ing Pedro Longhiini
1895-1896 Dr Carlos Maria Morales	1962-1964 Dr Pablo Negroni
1896-1897 Dr Ángel Gallardo	1964-1970 Ing José S Gandolfo
1897-1898 Ing Domingo Nocetti	1970-1976 Cap de Navío Emilio L Díaz
1898-1900 Ing Marcial R Candiotti	1976-1988 Ing Agr Eduardo Pous Peña
1900-1901 Dr Manuel B Bahía	1988-1989 Ing Augusto L Bacqué
1901-1902 Dr Carlos Maria Morales	1989-1992 Ing Lucio R Ballester
1902-1903 Ing Carlos Echagüe	1993-1999 Dr Arturo Otaño Sahores
1903-1904 Ing Emilio Palacio	1999-2001 Dr Andrés O M Stoppani
1904-1906 Dr Carlos Maria Morales	2001-2005 Dr Alfredo G Kohn Loncarica
1906-1908 Ing Gral Arturo M Lugones	2005-2009 Dr Jorge R A Vanossi
1908-1909 Ing Otto Krause	2009-2013 Dr Ángel Alonso
1909-1910 Ing Vicente Castro	2013-2017 Dr Eduardo A Castro
1910-1911 Dr Francisco P Moreno	2017-2021 Dr Ángel Alonso

## Introducción

**Jorge Norberto Cornejo**  
**Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)**  
**Sociedad Científica Argentina**

### La Física y su historia

Todo tiene una historia y la ciencia en general, y la Física en particular, no pueden ser la excepción.

La historia de la Física no es simplemente la narración biográfica de las personalidades más destacadas de la disciplina, ni de los grupos o instituciones que la conformaron y/o la conforman, sino que es también la historia de las discusiones, de las hipótesis, de los conceptos hoy generados y mañana abandonados, en síntesis, la historia de la construcción de ese vasto cuerpo de ideas sobre la Naturaleza que se ha dado en denominar Física.

Pero ambas historias están estrechamente relacionadas. Los avatares de las instituciones se eslabonan con el surgir y el fenecer de los conceptos, de las teorías, de las ideas. Y si hablamos de la historia de la Física en un país determinado, en este caso la Argentina, es claro que la ciencia no habrá permanecido aparte de los muchos (y a veces dramáticos) vaivenes que atravesó nuestro país.

La Sociedad Científica Argentina fue fundada en 1872. Cada cincuenta años, publica, como parte de los Anales de la Sociedad Científica Argentina, números temáticos con la historia, para el período correspondiente, de las distintas disciplinas científicas en la Argentina. En la Física, publicó el primero de los volúmenes históricos en 1922, siendo su director el Dr. Enrique Loe del Palumbo. El segundo fue exactamente cincuenta años después, y estuvo a cargo de José Federico Westerkamp, doctor tanto en Física como en Química. En este 2022, cuando la SCA cumple ciento cincuenta años, fui honrado con esa responsabilidad, siendo que mi trayectoria académica ni se aproxima a la de mis dos ilustres predecesores. Por eso, le agradeceré siempre a la SCA haberme encomendado este trabajo. Trabajo que tuvo que desarrollarse en este tiempo tan particular del mundo y de la Argentina, marcado por términos que hasta marzo de 2020 casi nunca mencionábamos: pandemia, cuarentena, coronavirus, COVID.

La Física en los últimos cincuenta años de la Argentina, es decir, en el período 1972-2022, ha gozado de una vida intensa, y de una multitud de hechos y situaciones, así como de temas y ocupaciones de interés, que resultan imposibles de abordar en un solo libro. La pandemia, además, impidió a varios de los autores de los capítulos acceder a informaciones y documentos que quedaron en sus oficinas en las distintas universidades. Por ello, lamentablemente y contra toda mi intención, mucho ha

quedado afuera, y a quienes, sean individuos o instituciones, no alcanzamos a mencionar, desde ya reciban mis sinceras disculpas.

En el Capítulo I realizo una síntesis de la Cosmología y la Gravitación en la Argentina. Intenté contactarme con algunos de los representantes más importantes del tema, que trabajan en nuestro país o, habiendo nacido y estudiado en la Argentina, han seguido sus carreras profesionales en el exterior. No todos respondieron a la convocatoria, por ello las ausencias no son, en este caso, responsabilidad del autor. Aquí debo agradecer especialmente a los físicos y físicas de la Universidad Nacional de la Plata y de la Universidad Nacional de Córdoba, con quienes sostuve muy interesantes charlas.

Cosmología y gravitación se encuentran estrechamente relacionadas con la Mecánica Cuántica, la Relatividad General y la Física de Partículas, conformando prácticamente un conjunto único. Aparece aquí un nombre fundamental: Mario Castagnino, y un numeroso conjunto de otros nombres: los discípulos por él formados. Al Dr. Castagnino y su grupo dedicamos el Capítulo II de esta obra.

Por supuesto, la Mecánica Cuántica no se limita a sus aplicaciones a la cosmología o a los agujeros negros, sino que tiene su "centro", podríamos decir, en la estructura de la materia, por lo que ha encontrado vastas aplicaciones en química. Dos doctoras en Química: Norah V. Cohan y Mariana Weissmann relatan en el Capítulo III sus veinte años de trabajo en esta disciplina.

Y un capítulo muy especial es el siguiente, que consiste en una entrevista a la Dra. Karen Hallberg, también especialista en Mecánica Cuántica. La Dra. Hallberg nos cuenta allí no solo sus logros e intereses científicos personales, sino también el rol que otros investigadores desempeñaron en el desarrollo de la física en la Argentina.

Siguen una serie de capítulos relativos a la energía nuclear, y sus aplicaciones, en la Argentina. Así, el Capítulo V refiere las actividades del Instituto de Tecnología Nuclear "Dan Beninson". Es una síntesis del documento "Instituto Dan Beninson", facilitado por las autoridades de dicho Instituto al autor del presente trabajo, quien le agradece a Ana María Lerner, Secretaria Académica del Instituto.

El Capítulo VI fue escrito por el Dr. Jorge Sidelnik, actual vicepresidente de la empresa NASA (Nucleoeléctrica S.A.) y narra las vicisitudes de la energía nuclear en las últimas cinco décadas de la Argentina, que el Dr. Sidelnik vivió personalmente. En particular, relata con gran detalle los problemas surgidos en la década de 1980 en el reactor de la Central Nuclear Atucha I (CNA-I), y los trabajos realizados para superarlos, que tuvieron al propio Dr. Sidelnik entre sus protagonistas principales.

El Capítulo VII se debe a la pluma de Liliana Saidón, Ingeniera Química. Es la historia de la Física Médica en la Argentina. Mucho de ello se relaciona con la radiactividad y la energía nuclear, a partir de sus aplicaciones en radioterapia y medicina nuclear. Desfilan por ese capítulo un sinnúmero de hombres y mujeres notables de la ciencia argentina, y se plantean perspectivas (e interrogantes) referidos al futuro de la Física Médica en nuestro país.

En el Capítulo VIII nos encontramos nuevamente con Liliana Saidón, esta vez para hablarnos de la Geofísica en la Argentina. Y sobre esa disciplina, quiero tener una frase para el Dr. Alejandro de la Torre, quien fuera el director de mi tesis de doctorado,

y que es un nombre fundamental en una importante sub-rama de la Geofísica: la física de la atmósfera. En Alejandro se conjugan el conocimiento de su tema, la actitud científica y, quizás lo más importante, la hombría de bien y la calidad humana, como me lo demostró ampliamente en los largos años que duró la realización de la tesis. Como en el cuerpo del texto no hay espacio suficiente para nombrar a todos los físicos que han trabajado en una u otra disciplina, quiero aprovechar aquí para mencionar al Dr. Peter Alexander, con quien compartí muchas discusiones y trabajos sobre la física atmosférica.

El Capítulo IX continúa con la Geofísica, en este caso a través de una entrevista a uno de sus más destacados exponentes: el Dr. Juan G. Roederer.

En el Capítulo X me interesó indagar la física que se lleva a cabo en instituciones tangencialmente relacionadas con la disciplina, en este caso el INTI, generador del SIMELA (Sistema Métrico Legal Argentino), al que deben referirse todas las unidades de medida empleadas en nuestro país.

El Capítulo XI aborda un tema que considero poco explorado: la relación de la física con el arte. Tal relación surgió de manera casual cuando, al entrevistar a la Dra. Cecilia Tomassini, por sus trabajos en Cosmología, encontré que ella es también Licenciada en Historia del Arte, y ha estudiado la aplicación de conceptos y procedimientos de física a las obras de arte. A partir de ello, pude determinar que son numerosos los científicos argentinos que tienen intereses artísticos; de hecho, el Dr. Alejandro de la Torre es también cantante de ópera. Y, además, que existen varias instituciones dedicadas a la conservación de obras de arte, a la datación cronológica de las mismas, etc., que utilizan recursos tomados de la física.

También me interesó que, además de la investigación, estuviera incluida en el libro la formación de los físicos en la Argentina. En el Capítulo XII, Marcela Agueda Sosa refiere ampliamente la enseñanza de la física en la Universidad Nacional de Córdoba. El Capítulo XIII presenta entrevistas a distintos investigadores, que gentilmente aceptaron ser entrevistados pero que no fue posible incluir en los capítulos anteriores. La mayoría de ellos estudiaron y/o trabajan en el Departamento de Física de la Universidad de Buenos Aires, por lo que a través de esas entrevistas conoceremos parte de la historia de ese Departamento.

Este es, entonces, el plan general de este trabajo.

Quisiera agregar al final de esta Introducción un comentario personal. Aquello que es auto-referencial quizás sea de poco valor para el lector, pero es de expresión urgente para el autor. Cuando tenía 18 años, concurrí a la SCA para escuchar una conferencia dada por el último discípulo directo de Einstein que todavía quedaba con vida. Después la vida, los estudios y el trabajo me llevaron por caminos separados de la SCA. En el año 2014 volví a tomar contacto con esta institución. Hoy, con mucho (mucho) más de 18 años, me encuentro coordinando este libro, algo que nunca había imaginado que iba a suceder. La vida, a veces dulce y a veces amarga, y en muchos casos con una mezcla de ambas sensaciones, tiene esas historias, esos ciclos, y aquí me toca vivir una de esas historias, con gran alegría y con una sensación de gratitud.

Para el Dr. Marcelo Leonardo Levinas: *“la verdadera ciencia es asombro y humildad”*. Haber realizado este trabajo, haber coordinado este libro, trabajo que por la pandemia resultó más arduo de lo esperado, terminó generando en mí asombro ante lo mucho que se ha hecho en Física en la Argentina, y humildad ante lo mucho que aún queda por hacer.

## Capítulo I

### Cosmología y gravitación en la Argentina

Jorge Norberto Cornejo  
Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)  
Sociedad Científica Argentina

#### Cosmología y gravitación

La cosmología quizás sea una de las ramas más apasionantes de la Física. Describir el Universo, explicar su estructura a partir de un conjunto de ecuaciones escritas sobre una hoja de papel debe ser una experiencia casi conmovedora. Ecuaciones que se basan, esencialmente, en la Teoría de la Relatividad General de Albert Einstein, con su enigmático espacio-tiempo curvo. Entre las conclusiones más notables de estas teorías se encuentran la existencia hipotética de los agujeros de gusano, que conectarían regiones muy apartadas del Universo; y las cuerdas cósmicas, defectos topológicos del espacio que podrían haberse formado en el Universo temprano y contribuirían, como “semillas”, a la formación de grandes estructuras, típicamente las galaxias. Todos estos temas requieren de un nivel matemático de altísima complejidad.

Asimismo, esta Física del macrocosmos se encuentra estrechamente hermanada con la Física del microcosmos, la Física de las partículas elementales, de forma tal que no se puede comprender la cosmología, la estructura del Universo, si no se comprende primero la estructura profunda del átomo y de las partículas que lo constituyen.

Cosmología y gravitación tan tenido, y tienen, un rol muy importante en la Física argentina.

#### Los agujeros negros supermasivos

Entre los temas más apasionantes de la cosmología actual figura el estudio de los agujeros negros supermasivos. En efecto, las observaciones del centro de la Vía Láctea y de otras galaxias parecen indicar que existe un agujero negro supermasivo en el centro de cada galaxia. Se ha encontrado que los movimientos de las estrellas del bulbo galáctico se encuentran vinculados a la masa del agujero negro supermasivo que reside en su centro.

Las relaciones mencionadas indicarían que estos cuerpos superdensos se encuentran estrechamente ligados a las galaxias que los alojan y que habrían influido en su evolución<sup>1</sup>.

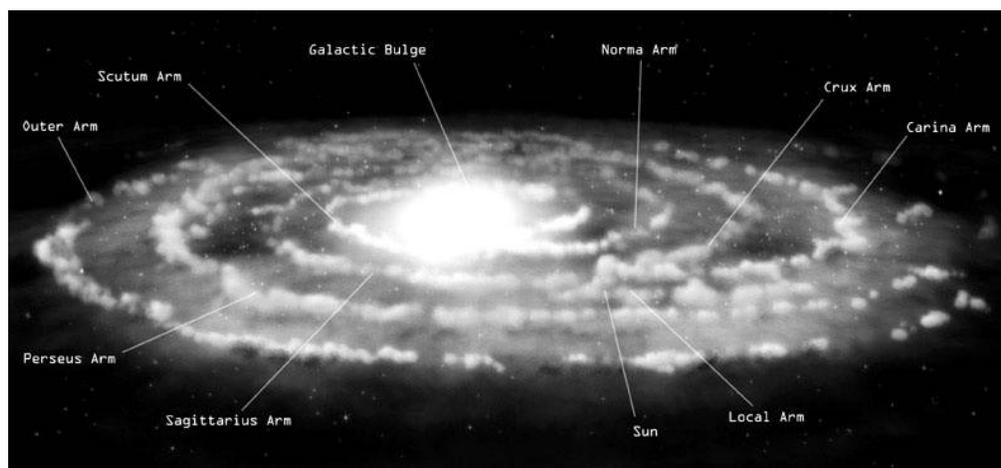


Imagen obtenida por el telescopio Chandra, que muestra, en el centro, el bulbo galáctico (<https://sedaliada.wordpress.com/2016/03/08/se-revela-el-bulbo-galactico/>)

Respecto del estado actual de la cosmología en la Argentina, Matías Zaldarriaga, físico argentino que es actualmente investigador en Harvard, opinó que: *“Creo que el estado de la cosmología y de otras áreas relacionadas es bastante bueno, que se hacen muchas cosas. Desde ya que los trabajos experimentales son caros y no hay demasiado dinero para hacerlos, pero hay alguna gente que trabaja en experimentos. Muchos de estos trabajos son colaboraciones muy grandes, de gente de distintos países. Se hacen cosas buenas, aunque se podría mejorar.”*<sup>2</sup>

## El Instituto Argentino de Radioastronomía

Entre tales “cosas buenas” podemos mencionar las investigaciones del Instituto Argentino de Radioastronomía, dependiente de la Universidad Nacional de La Plata y dedicado, entre otros temas, a cuestiones vinculadas con la astronomía de rayos X, cosmología, estudio de los núcleos galácticos activos y relatividad general.

Está situado en el Parque Pereyra Iraola y se fundó con el propósito de promover y coordinar la investigación y el desarrollo técnico de la radioastronomía y colaborar en su enseñanza. Inició formalmente sus actividades en marzo de 1966, bajo la dirección del Dr. Carlos Varsavsky, y desde entonces los trabajos de investigación en el área de la radioastronomía se han incrementado considerablemente en nuestro país<sup>3</sup>.

La Cosmología es una disciplina en la que la física y la astronomía estrechan sus manos. En realidad, tal colaboración excede la Cosmología propiamente dicha, dado que, obviamente, refiere a todas las cuestiones vinculadas con la astrofísica y temas afines; por ejemplo, la física de la radiación cósmica. Los trabajos científicos del IAR han cubierto numerosos temas de astronomía y astrofísica; por ejemplo, han efectuado contribuciones muy importantes al estudio de la ya mencionada radiación cósmica, así como de las emisiones de rayos gamma y la astrofísica relativista<sup>4</sup>, entre otras. El actual director del IAR y uno de los representantes más importantes en nuestro país sobre el trabajo conjunto en ambas disciplinas es el Dr. Gustavo Esteban Romero,

Profesor Titular de Astrofísica Relativista en la UNLP. El Dr. Romeroha investigado extensamente en astrofísica de agujeros negros, fuentes de rayos gamma, rayos cósmicos, galaxias activas, estrellas masivas, física de jets relativistas, gravitación y filosofía de la ciencia. De esta forma respondió a nuestra consulta: *“En forma breve puedo mencionar que me recibí de físico en la UNLP en 1991. Realicé mi tesis doctoral sobre los llamados “núcleos galácticos activos”, consistentes en agujeros negros supermasivos que acretan materia de la galaxia que los contiene. Esa tesis y los papers asociados fueron los primeros trabajos teóricos sobre agujeros negros astrofísicos hechos en el país. Junto a Jorge A. Combi, en 1995 publicamos el primer trabajo teórico de astrofísica de rayos gamma hecho en Argentina (y hasta donde sé el primero hecho en Sudamérica). En esos años también me involucré en el estudio de las fuentes de rayos cósmicos de muy alta energía (participé del proyecto Auger en sus etapas originales y escribí junto a Combi y Luis Anchordoqui los primeros papers teóricos que se hicieron aquí sobre esos problemas). Luego de algunos años en el extranjero, donde seguí profundizando en temas relacionados a la astrofísica relativista, volví al país y fundé en el IAR, el Grupo de Astrofísica Relativista y Radioastronomía en 2000. Hasta hoy dirijo ese grupo, donde ya se han formado varias generaciones de nuevos físicos dedicados a la astrofísica y la gravitación. Hemos desarrollado una importante actividad, tanto teórica como observacional, en estos temas. El grupo fue pionero en la utilización de técnicas multifrecuencia para el estudio de objetos cósmicos. También desarrollamos una importante labor en la divulgación y promoción de la astrofísica relativista. Organicé muchas conferencias en Argentina y en el extranjero relacionadas con estos tópicos, incluyendo un Simposio de la International Astronomical Union (IAU) que se realizó en Buenos Aires. También como Presidente de la Asociación Argentina de Astronomía (AAA) he tratado de impulsar esta clase de investigaciones. Creo haber tenido éxito, ya que hoy siempre hay una sesión dedicada a “Objetos Compactos y Astrofísica Relativista” en las reuniones de la AAA, y en 2005 se creó una cátedra de Astrofísica Relativista, de la que soy Titular, en la UNLP. Actualmente soy Director del IAR y he impulsado la repotenciación tecnológica de ese instituto. Actualmente los dos radiotelescopios con los que cuenta el IAR han vuelto a ser operativos, con nueva tecnología, y el IAR se ha sumado a campañas de detección de ondas gravitacionales a través de la medición de la variación de los períodos de púlsares de milisegundo.”*

## **Un capítulo especial: las altas energías**

La astronomía de altas energías es una rama de la astrofísica que estudia las radiaciones más energéticas que, desde distintas fuentes del espacio exterior, inciden sobre la Tierra. Es una fuente de insumos fundamental para la cosmología, dado que estas radiaciones nos informan de lo que está pasando “allá afuera”, y lo que pasa “allá afuera” a su vez nos informa sobre la estructura del Universo y sobre “lo que pasó en el Cosmos hace mucho tiempo”.

La radiación de altas energías comprende, por un lado, la radiación cósmica, conformada por partículas aceleradas a velocidades relativistas y, por otro, ondas electromagnéticas de alta frecuencia, tales como los rayos X super-energéticos y los rayos gamma. La atmósfera terrestre es totalmente opaca a este tipo de rayos,

impidiendo que se puedan realizar observaciones directas con detectores ubicados en la superficie de la tierra. Las fuentes astronómicas emiten bajas cantidades de rayos de altas energías, en comparación con otras bandas del espectro. Esto hizo que el desarrollo de la astronomía de altas energías se viera retrasado a la espera de que los avances tecnológicos permitieran la detección de los efectos causados en la atmósfera por este tipo de radiaciones.

Un hito importante para la astrofísica de altas energías en la Argentina tuvo lugar en 1988, cuando Trevor C. Wekees (director del Grupo de Radiación Gamma del Observatorio Fred Lawrence Whipple de Arizona) se puso en contacto con Jorge Sahade (entonces presidente de la Unión Astronómica Internacional) y Hugo Levato (director del CASLEO, el Complejo Astronómico del Leoncito). De esta reunión surgió una importante cooperación internacional con el envío, por ejemplo, del físico Eduardo Colombo, a quien el autor de estas líneas conoció personalmente en numerosos partidos de fútbol (ninguno de los dos jugamos demasiado bien), a completar su formación en la Universidad de Arizona, en los Estados Unidos. De aquí nacerían, por primera vez en la Argentina, varias tesis sobre astronomía gamma.

Otro hito de gran significación fue la participación de la Argentina en el proyecto Pierre Auger de detección de rayos cósmicos, iniciada en 1995, la cual dio lugar a proyectos de investigación que continúan vigentes en la actualidad. En la página de la Comisión Nacional de Energía Atómica se definen las características de este proyecto en la siguiente forma: *“El Proyecto Pierre Auger es una iniciativa internacional que busca determinar el origen y la identidad de los rayos cósmicos y dar otro paso adelante en la comprensión de nuestro universo.*

*La CNEA es uno de los principales participantes de este proyecto, del que toman parte 500 científicos de casi un centenar de instituciones de 18 países, quienes observan las lluvias de rayos cósmicos, efectuando mediciones de las cascadas de partículas que se producen cada vez que un rayo cósmico choca contra las moléculas de la atmósfera superior. Así se determina la energía, dirección de llegada y la naturaleza de los rayos cósmicos de las más altas energías observables.*

*El proyecto tiene su sede en el Observatorio Auger Sur que fue inaugurado oficialmente en 2008 en la provincia de Mendoza. Su emplazamiento fue decidido luego de una búsqueda de sitios a nivel mundial, cuya selección final recayó en Pampa Amarilla -locación ubicada en los departamentos mendocinos de Malargüe y San Rafael- por reunir las mejores condiciones geográficas y ambientales para este tipo de observaciones, junto con la buena infraestructura local y la existencia de grupos argentinos de investigación interesados en llevar adelante el proyecto.*

*Este observatorio de rayos cósmicos es el de mayor tamaño en todo el planeta, con detectores ubicados sobre más de 3000 km<sup>2</sup>. La red de detectores de superficie se complementa con un conjunto de 24 telescopios de alta sensibilidad que examinan la atmósfera para observar la tenue luz ultravioleta que producen las cascadas de rayos cósmicos al atravesar el aire.*

*La importancia de la observación de los rayos cósmicos de alta energía está en el aporte de una información distinta de la que se obtiene con el modo tradicional, basado en la observación de luz visible u otras formas de radiación electromagnética.”<sup>5</sup>*

## Juan Martín Maldacena

Veamos ahora las trayectorias de algunos científicos y científicas argentinos que se han destacado y se destacan particularmente en este tema. Seguramente, faltarán muchos nombres, algunos de relevancia. Hemos incluido a los que respondieron a las consultas que efectuamos por correo electrónico. Aquellos que faltan por omisión nuestra o porque no contestaron nuestra requisitoria, les pedimos sinceramente disculpas.

Empecemos por Maldacena.

Juan Martín Maldacena es uno de los grandes físicos argentinos de la actualidad. La “conjetura de Maldacena” o “dualidad de Maldacena” promete ser un avance fundamental en la teoría de las supercuerdas y en la comprensión de la estructura profunda del Universo. Si bien por ahora permanece en el plano teórico, cuando logre ser contrastada experimentalmente, y si tal contrastación es positiva, Maldacena será un firme candidato a la obtención del Premio Nobel de Física.

Consultado por mail sobre su trabajo y la forma en que se interesó por el tema nos respondió: *“Durante mi carrera de Licenciatura en Física en el Instituto Balseiro, me interesé en la física de partículas y esto me llevo a la teoría de cuerdas.*

*La teoría de cuerdas es una teoría de la mecánica cuántica del espacio tiempo, o de gravedad cuántica. Allí me guió Gerardo Aldazábal, y luego pasé unos meses en Buenos Aires bajo la guía de Carmen Núñez. Ellos eran, en su momento, los únicos trabajando en estos temas. Gerardo era profesor en el Balseiro y Carmen en la UBA.*

*Luego solicité una beca para hacer el doctorado en Princeton (EEUU), me admitieron e hice el doctorado allí. Continué trabajando en la teoría de cuerdas. Y más específicamente en agujeros negros según la teoría de cuerdas. Continué trabajando en temas de este estilo durante el resto de mi carrera.”*

Esperamos que Juan Martín, o aquellos que verifiquen experimentalmente su conjetura, nos sorprendan gratamente en un futuro próximo.

## Cora Dvorkin

Entre las científicas argentinas más destacadas corresponde mencionar a Cora Dvorkin, Doctora en Física por la UBA y Doctora en Cosmología por la Universidad de Chicago, que desde mediados de 2015 se desempeña como profesora en la Universidad de Harvard, una de las más prestigiosas del mundo.

Consultada por el autor vía correo electrónico sobre su historia profesional, la Dra. Dvorkin respondió lo siguiente: *“Yo soy cosmóloga teórica. Trabajo en temas relacionados a la naturaleza de la materia oscura, neutrinos y otras partículas livianas que pueden haber existido en el universo en sus primeros momentos, y la física del universo temprano. Uso datos de la radiación cósmica de fondo, la estructura del universo a gran escala y el efecto de lente gravitacional. Lideré el grupo de análisis que estudia la física del Big Bang y también el de materia oscura de un futuro experimento propuesto llamado CMB Stage IV.*

*Soy la representante de la Universidad de Harvard en el nuevo instituto de Inteligencia Artificial financiado por el NSF, junto a otras universidades en el área de Boston.*

*Gané una beca de subsidio a carreras tempranas del Departamento de Energía de EEUU en el 2019 y fui nombrada en el 2018 la científica del año por la Harvard Foundation por 'contribuciones salientes a la física, la cosmología y educación en áreas de la ciencia, tecnología, ingeniería y matemática (STEM)'. También gané una beca en el Instituto de Estudios Avanzados de Radcliffe durante el 2018-2019. En el 2012, obtuve el premio 'Martin and Beate Block Award', a la mejor joven física otorgado por el Centro de física de Aspen.*

*Nací y fui educada en Buenos Aires. Recibí mi licenciatura en física de la Universidad de Buenos Aires, y en el 2011 recibí mi doctorado de física de la Universidad de Chicago, en donde gané la beca 'Sydney Bloomenthal' en el 2009 por "investigación excepcional". Hice estudios postdoctorales en el Instituto de Estudios Avanzados de Princeton (del 2011 al 2014) y en el Centro del Astrofísica de la Universidad de Harvard (del 2014 al 2015) con una beca Hubble de la NASA."*

Cora Dvorkin es, entonces, un orgullo más para la Universidad de Buenos Aires, donde ella cursó sus estudios de grado.

## **Alejandro Gangui**

Otro de los físicos destacados en este tema es el Dr. Alejandro Gangui, conocido también por su vasta cultura y sus trabajos de divulgación científica, que incluyen la historia de la ciencia y la enseñanza y la educación de los jóvenes en temáticas de física y de astronomía. Quien esto escribe tuvo el honor de ser compañero del Dr. Gangui en alguna de las materias de la Licenciatura en Física, cursadas hace ya mucho tiempo en la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA.

Por correo electrónico el Dr. Alejandro Gangui efectuó una síntesis de su labor profesional:

*"Alejandro Gangui estudió Ciencias Físicas en Exactas-UBA e hizo su trabajo de tesis final de la licenciatura en temas de Cosmología Cuántica, bajo la dirección de Mario A. Castagnino. Continuó sus estudios de doctorado en la SISSA de Trieste, en donde se especializó en temas de Cosmología moderna y en aspectos observacionales de la Radiación Cósmica de Fondo, bajo la dirección de Dennis W. Sciama<sup>6</sup>. Hizo postdoctorados en el ICTP de Trieste y en el Observatorio de París, en este último caso en el grupo de Brandon Carter, perfeccionándose en el estudio de los defectos topológicos en el Universo primordial. Luego amplió su foco de interés, incluyendo la Historia de la Cosmología (publicó 'El Big Bang', de Eudeba) y la Historia de la Relatividad en la Argentina en los inicios del siglo XX, la Didáctica de la Astronomía y la Astronomía Cultural, temas en los cuales trabaja en la actualidad. Escribió sobre tópicos muy variados que tienen al cielo como eje principal, desde el Cosmos de Dante Alighieri hasta las más recientes teorías y observaciones que buscan comprender la materia y la energía oscuras de nuestro Universo."*

La Física, por lo tanto, puede llevarse perfectamente bien con la historia, la literatura y todas las disciplinas humanísticas: los ideales del Renacimiento aún no han perdido vigencia.

## Susana Landau

Susana Landau es investigadora del CONICET y docente en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Sus temas de interés son: estudio del Fondo Cósmico de Radiación: estadística y estimación de parámetros cosmológicos; Teorías de gravedad modificada: estudio de efectos observables; violaciones del principio de equivalencia en teorías con campos camaleones y gravedad modificada; y modelos de inflación que incluyen colapso cuántico.

Consultada sobre su trayectoria en la física nos respondió: *“Desde mi infancia que estoy interesada en el Universo como objeto de estudio, aunque en la infancia el Universo que yo imaginaba se reducía al sistema solar. Luego durante el colegio secundario, a partir de una investigación, aprendí sobre la Teoría de la Relatividad General y la teoría cuántica y a partir de ahí ya no tuve dudas que la carrera que iba a seguir era Física. Actualmente trabajo estudiando modelos cosmológicos alternativos al modelo cosmológico estándar, calculando las predicciones teóricas de dichos modelos y realizando análisis estadísticos donde se comparan las predicciones teóricas con datos observacionales recientes. Los modelos alternativos en los cuales trabajo están motivados por teorías de gravitación alternativas a la Relatividad General. Durante toda mi carrera me dediqué al estudio de modelos cosmológicos alternativos. Mi tesis de doctorado se focalizó en estudiar teorías donde las constantes fundamentales de la naturaleza como la carga y masa del electrón por ejemplo pueden adquirir valores diferentes durante la evolución del Universo. Luego de mi doctorado, seguí estudiando las constantes fundamentales pero también consideré modelos de inflación alternativos al modelo estándar de inflación. Y en los últimos tiempos me focalice en los modelos cosmológicos motivados por teorías alternativas de gravitación.”*

## Lucila Kraiselburd

Quisimos conocer la “historia” de alguien que se ocupa del tema habiendo sido formada inicialmente en Astronomía. La Dra. Lucila Kraiselburd así nos respondió: *“En mi caso, entré a la Facultad de Astronomía sabiendo que quería trabajar en el área de la cosmología porque me gustaban la física y la matemática pero además siempre tuve (y tengo) una especial atracción hacia los orígenes y la evolución de las cosas en general (de no haber estudiado astronomía, hubiera estudiado arqueología). A lo largo de la carrera donde uno va conociendo otras ramas de la astronomía, mi gusto por la cosmología se intensificó, interesándome mucho por las etapas evolutivas del universo y los posibles mecanismos que la generan. Por ende, cuando llegué a los últimos años de la carrera me puse en contacto con quien fue mi profesor consejero y director en las tesis de licenciatura, doctorado y primeros años en la carrera de Investigador en CONICET, el Dr. Héctor Vucetich, y comencé a trabajar en el Grupo de Gravitación, Astrofísica y Cosmología de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de La Plata. Al principio el grupo era bastante reducido, pero por suerte en los últimos años esto se revirtió, y ahora cuenta con varios investigadores, becarios y además colaboradores de otras instituciones nacionales e internacionales. Durante los primeros años de mi trayectoria ya como astrónoma, me dediqué a estudiar las posibles variaciones de las constantes fundamentales y sus consecuencias,*

sobre todo en relación a las posibles violaciones al Principio de Equivalencia Débil. Luego pasé a estudiar teorías cosmológicas tipo camaleón en las cuales un campo escalar que se acopla a la materia pero su efecto depende de la densidad del medio de manera tal que, en regiones de baja densidad su efecto genera desviaciones significativas de la Relatividad General (por ejemplo a escalas cosmológicas) mientras que dichas desviaciones en el Sistema Solar y en el Universo temprano (regiones de alta densidad) se tornan indetectables por las observaciones actuales. A partir de allí comencé a estudiar otros modelos cosmológicos alternativos (como la  $f(R)$  y la MOG; ambas son teorías de gravedad modificada) al modelo cosmológico estándar comparando sus predicciones con diversas observaciones astronómicas y experimentos que testean el Principio de Equivalencia.”

## Rodrigo Díaz

Rodrigo Díaz es un investigador joven, pero con una ya larga trayectoria en la investigación astrofísica. Por videoconferencia no relató su historia en el tema: “Yo me gradué en la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA. También hice allí el Doctorado, en temas de Astrofísica. A mi siempre me interesó el tema de Astronomía de chico y durante los últimos años del secundario dudaba en estudiar astronomía o física. Hablando con distintas personas el consenso general fue que era mejor estudiar primero física, y después dedicarme a la astrofísica. Durante la cursada me atraieron un montón de temas, cosas más teóricas como la Relatividad General y la Teoría de Campos. Pero para la tesis de grado trabajé en un tema bien astronómico: observación y reducción de espectros, y hasta tuve que hacer observaciones. Eso me recordó los intereses que tenía de chico. Durante el doctorado, si bien trabajaba en atmósferas estelares, empecé, junto con mi director, Pablo Mauas, a desarrollar un interés por el estudio de los exoplanetas. Y eso lo pudimos trabajar con gente que está actualmente en Chile pero que, como Dante Minitti, es originaria de Córdoba. En ese momento en Argentina no había nada sobre análisis de observaciones de exoplanetas. Para el pos-doc hice una estadía en Francia donde trabajé con François Bouchy, y luego estuve en Ginebra con Didier Queloz y Michael Mayor, los más importantes en el tema de los exoplanetas. Allí también me especialicé en estadística y análisis de datos, es decir, en un estudio muy riguroso de los datos disponibles, lo cual no siempre es el caso en este tema, y también exploré nuevas técnicas tendientes a superar algunas limitaciones que tiene el campo, relacionados con la estrella alrededor de la cual orbita cada exoplaneta. Se trata tanto de buscar mejoras experimentales como herramientas matemáticas que permitan “bucear” en el ruido que generan estas estrellas. Me doctoré en 2009 y regresé a la Argentina en 2016 para trabajar en el IAFE y empecé a armar de a poco mi equipo. Ahora es un equipo grande pero bastante deslocalizado, hay gente de Córdoba, de La Plata, etc. Sigo con el desarrollo de métodos estadísticos, que es mucho más barato que trabajar en forma experimental. En febrero de 2020 me mudé a la Universidad de San Martín, principalmente porque allí también se está llevando adelante un proyecto de inteligencia artificial y análisis de datos, que engloba a toda la Universidad y tiene el objetivo de transformar a la UNSAM en un polo de inteligencia artificial. Hay una gran interacción entre profesionales de distintas disciplinas: física, informática, etc.”

Un investigador joven, entonces, pero con una historia de vida académica extensa y muy interesante.

## **Milva Orsaria**

*En realidad, desde que era estudiante a mi me interesaba la Física de partículas. Comencé a trabajar en defectos topológicos como una alternativa a la explicación de los rayos cósmicos de ultra-alta energía que llegan a la Tierra en eventos esporádicos. Esto fue en el marco del proyecto Pierre Auger. Luego trabajé en transiciones de fase en el Universo temprano, específicamente en la transición de fase quark-hadrón y la posibilidad de formación de strangelets, pequeños conglomerados de materia de quarks livianos ( $u$ ,  $d$  y  $s$ ). En la mitad de mi doctorado apliqué mis conocimientos sobre materia de quarks en estrellas de neutrones híbridas formadas por un núcleo externo de materia hadrónica y uno interno de materia de quarks, transición de fase hadrón-quark. Mi tema actual de investigación es el estudio de la composición de las estrellas de neutrones, particularmente en los núcleos interno y externo, que es donde se concentra casi la totalidad de su masa. En este momento estamos estudiando la posibilidad de incorporación de materia oscura en estas estrellas."*

## **Oscar Reula**

Cosmología, astrofísica, gravitación, no solo se investigan y desarrollan en la Ciudad o en la Provincia de Buenos Aires. Hay una gran actividad científica en los centros urbanos del interior de nuestro país. Por ello, entrevistamos al Dr. Oscar Reula, profesor de la Facultad de Astronomía, Matemática, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Este es un resumen de lo que gentilmente nos comentó por videoconferencia: *"Yo me interesé en ciencia básicamente por mi abuelo, que era profesor en Paraná y director de la Escuela Industrial. Era una persona bastante formada en matemática, pero en esa época el conocimiento era mucho más abarcativo que ahora, no era tan especializado. Hablaba con él de muchísimas de cosas, de matemática, de arte, de mitología griega. Era una persona que tenía mucho conocimiento. Desde ese momento empecé a leer libros de divulgación, y también me gustaba el arte, estuve mucho tiempo decidiéndome entre la ciencia y el arte. Finalmente me di cuenta que la ciencia era algo que podía hacer en forma continua, mientras que el arte era algo más esporádico. Ahí me decidí y me inscribí en la Universidad Nacional de La Plata, en la UBA y en otras facultades, pero finalmente decidí venirme para Córdoba. Y acá descubrí la física y la matemática en serio, y estuve "en mi salsa". Me tocaron tiempos muy difíciles, yo entré a la UNC en 1974. Tuve muy buenos profesores, entre ellos Víctor Hamity y Reinaldo Gleiser, que eran muy buenos para dar clase y me decantaron hacia la física teórica, sobre todo Relatividad General. En 1978 hubo en Rosario una conferencia por los cincuenta años de la Teoría de la Relatividad General, a la que asistieron varias personalidades destacadas. Ahí conocí al profesor Robert Geroch y con él me fui a hacer el doctorado a Chicago. Me interesó trabajar dentro de esa "escuela de pensamiento. Después de que doctoré fui a trabajar cinco años con Jürgen Ehlers a Alemania. En un principio estudié una rama bastante matemática, era geometría junto con ecuaciones*

*en derivadas parciales aplicadas a problemas de la física. Mi tesis fue sobre la positividad de la masa, y demostré la existencia del espinor de Witten, tema en el que numerosos investigadores habían trabajado durante varios años. Con dos compañeros de FAMAf regresamos al país en 1989 y reforzamos el grupo que ya tenían Gleiser y Hamity. En 1992 organizamos una de las conferencias más importantes que tiene el campo aquí en Córdoba, la XIII conferencia de la Asociación de Gravitación, que se hace cada tres años, y que fue la única en su género en América del Sur. Ahí se presentaron los resultados del COBE. Estuvieron, entre otros, Taylor y Penrose, fue una conferencia muy buena. A partir de ahí el grupo empezó a crecer y generamos mucha gente, algunos de ellos emigraron. Hoy el grupo es grande y heterogéneo, yo evolucioné hacia la parte de análisis numérico. Vemos campos magnéticos alrededor de púlsares, púlsares binarios con agujeros negros, cosas muy interesantes.”*

Curiosamente, no es este el primer físico que hemos entrevistado que nos refiere su interés por el arte. Conocemos distinguidos doctores y doctoras en Física que, al mismo tiempo, han desarrollado una excelente carrera como cantantes de ópera o como investigadores de historia del arte. En este mismo libro, la Dra. Cohan nos cuenta cómo, después de una brillante carrera en Química, inició otra no menos brillante, en el arte pictórico. Claramente, el conocimiento humano es uno solo, y sus distintos aspectos, lejos de oponerse, se complementan y enriquecen entre sí.

## **Juan Manuel Armaleo**

Y también nos interesó la visión de alguien que hace sus “primeras armas” en el tema. El Lic. Juan Manuel Armaleo así nos respondió: *“Con respecto a tu consulta, paso a comentarte un poco mi tema: yo estoy realizando mi doctorado, me encuentro a mediados de mi tercer año aproximadamente. Mi directora es Diana López Nacir. Con ella estamos investigando modelos de materia oscura; más precisamente un modelo específico de materia oscura en el que proponemos que dicha materia es un campo tensorial de spin 2, a diferencia de otros modelos bosónicos que proponen por ejemplo un campo escalar o vectorial. Mediante diversos fenómenos que ocurren en el Universo, tratamos de poner cotas a los parámetros del modelo (por ejemplo con la medición de ondas gravitacionales, el cual fue nuestro último trabajo).*

*Hoy en día se estima que la materia oscura debería constituir aproximadamente un 25% del contenido del Universo, pero no se sabe exactamente cuál es su origen, de qué está constituida, cómo interactúa con la materia ordinaria, etc. Es tal el nivel de ignorancia que tenemos sobre ella, que de hecho hay infinidad de modelos de materia oscura (propuestas bosónicas, fermiónicas, que su masa es extremadamente chica, que su masa es extremadamente grande, etc.). Diana López Nacir y yo, en particular, estudiamos uno de estos tipos de modelos ya que lo encontramos extremadamente rico fenomenológicamente desde el punto de vista gravitacional y/o cosmológico (además de ser mi tema doctoral, claro).*

*Tal como te comenté antes, yo me encuentro alrededor de mi tercer año de doctorado; previo a eso, mis conocimientos sobre materia oscura eran un poco escuetos (o por lo menos en comparación con lo que sé ahora).*

## En síntesis...

Todavía tenemos mucho que aprender sobre el Universo, sobre su origen y sobre su estructura. Cosmogonía y gravitación son dos ramas de la Física que actualmente presentan una gran vivacidad. En Argentina se posee una tradición de investigación sobre las mismas que crece año a año. Aquí hemos presentado solamente algunas de esas investigaciones y algunos de los científicos y científicas que las llevan a cabo. Hubiéramos deseado presentarlos a todos, pero por razones obvias eso no es posible. A los que hemos mencionado y a los que no les decimos: continúen trabajando, el Universo nos espera.

## Referencias

- 1 C. Tomasini, *Ciencia y Tecnología*, 15, 2015, pp. 181-192.
- 2 Entrevista del 21 de mayo de 2007. Agencia CyTA. <https://www.agenciacyta.org.ar/2007/05/entrevista-a-matias-zaldarriaga/>
- 3 La historia del IAR ha sido descripta ampliamente por E. Bajaja, *Historia del IAR*, en: *Historia de la Astronomía Argentina*, Asociación Argentina de Astronomía, pp. 217-296.
- 4 Las investigaciones de astrofísica relativista que se realizan actualmente en el IAR incluyen: astrofísica de objetos compactos; restos de supernova; estrellas masivas; cosmología y gravitación; fuentes de rayos gamma no identificados; rayos cósmicos de energías alta y ultra-alta y astronomía extragaláctica.
- 5 <https://www.argentina.gob.ar/cnea/investigacion-y-desarrollo/pierre-auger>
- 6 Agregamos nosotros que uno de los alumnos de Sciamia fue nada menos que Stephen Hawking.

## Capítulo II

### La figura del Dr. Mario Castagnino

Jorge Norberto Cornejo  
Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)  
Sociedad Científica Argentina

**Nota:** gran parte de los datos de este capítulo fueron obtenidos por el Lic. Alejandro Puceiro, a quien el autor le agradece particularmente.

#### Mario Castagnino

Un libro sobre la historia de la Física en la Argentina no puede obviar la figura de Mario Castagnino (1935-2018), doctor en Física (entre otros títulos académicos), investigador superior del CONICET, declarado en 2016 Ciudadano Ilustre de la ciudad de Rosario. El doctor Castagnino ha sido durante mucho tiempo una figura importante en el desarrollo de la gravedad, la cosmología y la física cuántica en América Latina, tanto por su investigación original como por el número y la calidad de sus discípulos. Fue Director del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Matemáticas de la Universidad Nacional del Litoral (1965-70), bajo cuya dirección se creó la Licenciatura en Física; Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de Rosario (1971-72), donde fue determinante su contribución para la radicación de los primeros grupos de investigación, y Director-Organizador del Instituto de Física de Rosario (1980-87). También participó en la creación del Planetario y Observatorio de Rosario (1981). Desde la Fundación Castagnino fue un animador de las actividades del Museo homónimo y del Museo de Arte Contemporáneo de Rosario (MACRO), que contribuyó a crear, y con lo que nuevamente vemos cómo muchos de los físicos que aparecen en las páginas de este libro estuvieron interesados por el arte, o incluso lo practicaron en alguna de sus formas. Por estas contribuciones la ciudad de Rosario lo designó Ciudadano Ilustre en 2016.

Nacido en Rosario en 1935, el Prof. Castagnino se graduó primero como Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Rosario (1960) y posteriormente obtuvo un doctorado en Matemáticas por la Universidad de Roma (1965) y en Física por la Universidad de París VI (1974). Sus primeras investigaciones versaron sobre la relatividad general y el campo entonces recientemente abierto de la teoría cuántica de campos en espacios curvos. De regreso a la Argentina reunió a su alrededor a un grupo de jóvenes investigadores que realizaron importantes contribuciones tanto a la teoría de campos como a la Cosmología del Universo Temprano. A finales de la década de 1980 entabló

una colaboración a largo plazo con I. Prigogine y E. Gunzig de la Universidad Libre de Bruselas, Bélgica. Tomando las ideas de Prigogine como punto de partida, el doctor Castagnino desarrolló su propio enfoque del problema del tiempo y la gravedad cuántica. Las simetrías Gauge y la radiación de Hawking de los agujeros negros también fueron abordadas por él mismo o por algunos de sus numerosos tesisistas.

Quien esto escribe fue su alumno en Mecánica Cuántica, durante la licenciatura en Física de la UBA, y escuchó sus presentaciones en algunos congresos, pero no tuve la fortuna de trabajar con él y experimentar “de cerca” su trabajo como investigador. Por eso, voy a apoyarme en el testimonio de quiénes sí lo conocieron muy personalmente. Al respecto, Marcelo Leonardo Levinas, doctor en Física y profesor de Filosofía, en la actualidad profesor en la Facultad de Filosofía y Letras de la UBA, en un homenaje a Castagnino realizado en Rosario en 2010<sup>1</sup>, afirmó: *“Las anécdotas caracterizan la vida de una persona. En Mario las anécdotas son una mezcla sutil de situaciones académicas y mundanas, y pueden aparecer de repente en medio de una discusión técnica. Mario tiene una anécdota para cada situación. Déjenme exagerar un poco: posee una anécdota o una salida pertinente para cada tema, para cada aspecto de una teoría; la tendría si así lo desease para cada ecuación. Cuando intenté introducir en mi recuerdo algunas anécdotas de Mario, me di cuenta de que muchas de ellas son anécdotas de anécdotas, o sea: la anécdota consiste no tanto en algo que a uno le sucedió con él, sino a algo que a Mario le sucedió con otro o en otro lugar; cosas que contó que le habían sucedido. Sobre todo uno recuerda su forma de contarla. Y siempre son pertinentes para el caso. La forma con que cuenta una anécdota, es en sí misma una anécdota... Mi principal anécdota, por decirlo de alguna manera, con Mario Castagnino, es que él me formó en la física teórica. Y es lo que más le agradezco. Una vez se lo dije, aunque no creo que lo recuerde: le dije que le agradecía haberme introducido en la teoría científica más bella jamás imaginada y diseñada por el hombre: La Relatividad General. Creo que todos los que hemos tenido la oportunidad y la enorme suerte de entrar en contacto con la Relatividad General comprobamos la enorme deuda, muchas veces inconsciente, que tiene la ciencia desde sus orígenes, con el arte, con la estética, con lo armonioso, con las simetrías, con las proporciones, traducidas, por supuesto, en su matemática tan elegante y en su geometría física<sup>2</sup>. Permítanme alguna licencia, pero la Relatividad General requiere inevitablemente poner en juego la creatividad para develar con sencillez lo que antes parecía oscuro y oculto. Einstein decía que la mayoría de las ideas fundamentales de la ciencia eran esencialmente sencillas y, que por regla general podían ser expresadas en un lenguaje comprensible para todos. En Relatividad General uno no sólo puede crear modelos, por ejemplo para el universo, sino que tiene el derecho de elegir diferentes representaciones del espacio-tiempo. Uno deja de estar atado a un espacio. El escenario de la realidad no está dado a priori, uno debe imaginarlo en relación con lo que se desea exigir al problema, a las*

*simetrías. Y esto tiene un sentido estético.”* Continúa narrando el Dr. Levinas: *“Castagnino me introdujo en la belleza de Relatividad General, tan afín a su sentido de lo estético, y, finalmente, en la investigación. En los vericuetos de los papers. En las técnicas de cómo explicitar lo novedoso luego de un cuidadoso rastreo de que nadie lo hubiese hecho exactamente así antes, aunque fuese en un tema minúsculo, y me enseñó las inevitables trampas a las que un científico recurre, como por ejemplo, en cómo absorber las anomalías del tema o lo que uno mismo no entiende y expresársela a un referee de una manera críptica. La creatividad requiere de la imaginación y de cómo fundamentar algo con el fin de convencer. Pero también de reconocer lo que uno no entiende. La ciencia es el relato de fenómenos. Y todo relato debe ser verosímil. Si encima es verdadero, mejor, pero ése ya es un problema filosófico. La tarea del científico, a mi humilde entender, es tornar verosímil la exposición de un fenómeno. Por eso mi admiración hacia la capacidad científica de Mario, en la que rescato, sobre todo, el elemento más importante de todos, la originalidad y la creatividad. Uno no puede ser un buen científico, y menos aún un físico teórico, si no posee creatividad. Porque se trata de contribuir a la formulación de teorías nuevas. Porque lo que le da vida a la ciencia es la renovación pero también la admisión honesta de que la propia teoría en que uno trabaja y a la que contribuye, muy probablemente se caerá alguna vez o será drásticamente modificada o absorbida en el futuro.”*

Como dijimos, el Dr. Castagnino formó un gran número de físicos, que se destacarían en relatividad, cuántica, cosmología y otras ramas de la física: Diego Harari, Diego Mazzitelli<sup>3</sup>, Carmen Núñez, Carlos Laciana, Luis Cimento<sup>4</sup>, Esteban Calzetta, Rafael Ferraro, Graciela Domenech, Norberto Umérez, Juan Pablo Paz<sup>5</sup>, Roberto Laura, Carlos Ordóñez<sup>6</sup>, Carlos Lousto<sup>7</sup>, Roberto Aquilano<sup>8</sup> y Alejandro Gangui, entre otros. Cinco de los integrantes de este grupo serían luego Directores del Departamento de Física de la FCEyN.

En la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, Mario Castagnino comenzó trabajando en el Departamento de Matemática, para seguir luego en el IAFE (Instituto de Astronomía y Física del Espacio). En este último comenzó a formar su grupo de investigación, que posteriormente se llamaría “Grupo de teorías cuánticas relativistas y gravitación”.

Aproximadamente hacia 1995 el grupo se dividió, a partir de una serie de cambios introducidos en el CONICET por el entonces Secretario de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, Dante Caputo: una parte del grupo continuó trabajando en el IAFE y el resto pasó a integrar el Departamento de Física de la FCEyN. Según cuenta Carmen Núñez en una entrevista realizada por el Lic. Alejandro Puceiro, esta división significó un dolor importante para el Dr. Castagnino, si bien continuó manteniendo buenas relaciones con los integrantes de ambos grupos.

Además de los temas de Física, el Dr. Castagnino siempre estuvo interesado en la filosofía, como lo prueba la estrecha relación que mantuvo con el Dr. Levinas. En los últimos años de su carrera, el interés por lo filosófico se volvió predominante en su obra, a partir de su trabajo con la Dra. Olimpia Lombardi<sup>9</sup> y por su interés por hallar los fundamentos básicos de las teorías físicas. En particular, le interesaron las distintas interpretaciones de la Mecánica Cuántica, y todo lo relacionado con la temática probabilística y los límites que la cuántica impone a la exactitud de las mediciones<sup>10</sup>.

En esta temática, Castagnino contribuyó a crear el Grupo de Filosofía de las Ciencias (FCEyN y Facultad de Filosofía y Letras) y fue coautor, con Juan José Sanguinetti, del libro "Tiempo y Universo" (Ed. Catálogos, Buenos Aires, 2006).

El Dr. Mario Alberto Castagnino falleció en su ciudad natal, Rosario, el 27 de agosto de 2018.

## Referencias

- 1 Quantum Gravity and the Foundation of Physics, homenaje a Mario Castagnino al cumplir 75 años de vida, Rosario, marzo de 2010.
- 2 Aparece aquí una vez más la relación entre ciencia y arte, que será (en forma no buscada por el autor) casi el leit-motiv de la presente obra.
- 3 Diego Harari y Diego Mazzitelli actualmente se encuentran trabajando en el Instituto Balseiro, en Bariloche, específicamente en el proyecto Auger de detección de la radiación cósmica.
- 4 Que fue el primer tesista del Dr. Castagnino, seguido por Diego Harari y Carmen Núñez.
- 5 Juan Pablo Paz, actualmente trabaja esencialmente en temas de computación cuántica, específicamente en la teoría cuántica de corrección de errores, y ha desarrollado una serie de técnicas para corregir los errores de ese tipo de computadoras. También ha utilizado la computación cuántica para simular sistemas caóticos, en el marco de la teoría del caos. En 2002, junto a César Miquel y Marcos Saraceno, desarrolló un programa que permite realizar con eficiencia espectroscopia y tomografía en una computadora cuántica, estableciendo por primera vez una analogía entre ambas tareas.
- 6 Carlos Ordóñez es matemático. En los cursos de relatividad del Dr. Castagnino se ocupaba de dictar los temas de teoría de grupos y otras cuestiones estrictamente matemáticas.
- 7 Quien seguiría su carrera en los Estados Unidos.
- 8 Roberto Aquilano es astrónomo.
- 9 La Dra. Lombardi es Doctora en Filosofía e Ingeniera Electromecánica con orientación Electrónica. Ha publicado numerosos trabajos sobre filosofía de la ciencia y de la tecnología.
- 10 Para la Dra. Carmen Núñez este interés por la filosofía es característico de los físicos cuando se encuentran ya avanzados en su carrera de investigador.

## Capítulo III

### Aplicación de la mecánica cuántica al estudio de la estructura electrónica de moléculas y sólidos. Dos investigadoras y 20 años de trabajo en colaboración.

Norah V. Cohan y Mariana Weissmann  
Doctoras en Química

Este artículo consta de 3 partes: en la primera describiremos la investigación realizada por cada una antes de trabajar juntas, en la segunda el trabajo en colaboración y en la tercera el derrotero, el rumbo que siguió cada una posteriormente

#### Primera parte

##### Norah V. Cohan

Me recibí de Doctora en Química en la Facultad de Ciencias Exactas de la UBA en 1953, a los 23 años, con la tesis "*Estudios teóricos de estructuras iónicas en moléculas*" cuyos resultados fueron publicados junto con mi director de tesis S. Altmann<sup>1</sup>.

Luego pasé unos 2 años en Oxford en el Mathematical Institute, cuyo director era el Profesor C. A. Coulson (Fellow of the Royal Society). El primer año como estudiante posgraduada y el segundo como *research assistant*. Coulson fue pionero en la aplicación de la mecánica cuántica a los problemas de la estructura y reactividad molecular. Su libro "Valence" es un clásico en el tema.

Durante mi estadía seguí perfeccionándome en el estudio de métodos aproximados de la mecánica cuántica para el estudio de propiedades de moléculas y sólidos y en el uso de una computadora.

Estos conocimientos fueron esenciales para dar comienzo a mi tarea de dirigir trabajos de tesis a mi regreso a la Argentina. Creo que fue el primer grupo en Argentina en este tipo de investigaciones.

La estadía en Oxford dio lugar a varias publicaciones en revistas internacionales<sup>2</sup>.

En 1957, becada por el gobierno francés, pasé 2 meses haciendo investigación en París, en el Centre Nationale de Chimie Théorique. Durante mi estadía tuve el privilegio de conocer al Profesor Linus Pauling (Premio Nobel de Química y Premio Nóbel de la Paz). Tengo una foto con él y el resto de los integrantes del Centre.

Volví a la Argentina. En 1958, se creó el Conicet y yo fui una de las primeras investigadoras del mismo.

En 1958 fui como visitante al Centro Atómico Balseiro, por 2 semanas donde di un curso de mecánica cuántica aplicada al estudio de la estructura electrónica de moléculas.

En 1959 fui nombrada profesora asociada en la Facultad de Ciencias Exactas y tuve alumnos que hicieron tesis de doctorado bajo mi dirección a saber:

M. Giambiagi: "*Estados electrónicos del radical CH<sub>2</sub> 1960*".

C Tschudi: "*Estudios teóricos del estado excitado B de la molécula de hidrógeno*".

A. Batana: "*Comparación de diferentes métodos de cálculo en moléculas*".

M. Weissmann: "*Estudio teórico de la unión hidrógeno y de defectos iónicos en el hielo*".

Las 3 primeras para el Doctorado en Química y la última para el Doctorado en Física. Excepto la primera de estas tesis, las otras dieron origen a publicaciones en revistas extranjeras<sup>3</sup>.

A partir de la Tesis de la Dra. Mariana Weissmann comenzó la colaboración entre ambas, con algunos períodos míos en el extranjero que menciono a continuación:

En 1962, y con mi primer hijo de 3 años y una persona para que lo cuidara, fui invitada por el University College of North Wales, Gran Bretaña por un año, lo que dio lugar a una publicación<sup>4</sup>.

En 1965, ya con mis 2 hijos, fui invitada a la University of Pennsylvania por el profesor H. Hameka, un viaje muy interesante porque dio lugar a 6 publicaciones de carácter muy diverso<sup>5</sup>.

Quiero destacar que estas publicaciones fueron en colaboración con el Dr. H. Hameka, que tuvo la deferencia de poner mi nombre siempre delante del suyo.

El golpe de estado en Argentina de 1966 me encontró fuera del país y tuve la suerte de encontrar trabajo en el Instituto Politécnico de la ciudad de México que, a pesar de ese nombre, tenía el nivel de una Universidad. Allí fui nombrada profesora, di cursos de Mecánica Cuántica y de Física general, tuve 2 alumnos de tesis de licenciatura y varias publicaciones<sup>6</sup>.

También presenté en México una memoria sobre "*Física atómica y molecular en Latinoamérica*" como parte del primer Congreso Latinoamericano de Física.

En 1968, como profesora visitante estuve en la Universidad de San Pablo, Brasil, donde dicté 2 cursillos: uno sobre la estructura del ión hidrógeno, defectos y teoría de la conducción en el hielo y otro sobre procesos multifotónicos en gases.

Cuando se produjo el golpe de estado de 1976 yo me encontraba haciendo investigación en la CNEA con Mariana Weissmann. Me enteré que me habían dejado cesante del CONICET por motivos que nunca pude averiguar. Tuve ayudas generosas para seguir haciendo investigación: la Fundación Sauberan me ayudó económicamente y, en particular, deseo destacar que la misma CNEA me ayudó y me permitió seguir haciendo investigación en la Institución.

Deseo destacar que los viajes que hice al extranjero a partir de 1960 fueron salidas cortas mientras trabajaba en colaboración con la Dra. Mariana Weissmann. Para terminar con esta primera parte comento que en varias oportunidades presenté trabajos en Congresos Internacionales.

## Mariana Weissmann

Me recibí de Licenciada en Física en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires en 1957. Muy poco después se inauguraron los cargos docentes con dedicación exclusiva en las universidades argentinas. Mi primera ayudantía fue en el Departamento de Meteorología de la Facultad, fundado por el Dr. Rolando García en febrero de 1958. Enseñaba física de nubes a los futuros meteorólogos y pronosticadores.

Aparte de la docencia me incorporé a un grupo de investigación relacionado con la “operación granizo”. Este proyecto estaba destinado a sembrar nubes con ioduro de plata para evitar que se formaran piedras grandes y destrozaran los viñedos. Tenía dos partes: la siembra, que se hacía directamente en Mendoza, desde tierra o con aviones, y la investigación fundamental sobre el tema, que se hacía en un laboratorio del servicio meteorológico, en Villa Ortúzar. Este grupo lo dirigía el Dr. Julio Iribarne y empleaba tanto físicos como químicos. Se hacía trabajo experimental, como por ejemplo el estudio de granizos artificiales fabricados en un túnel de viento por la Dra. Laura Levy y también trabajo teórico para entender las propiedades básicas del hielo con impurezas. Para esto último se contactó a la profesora Norah Cohan, del Departamento de Química de la facultad, y de allí salió la primera publicación científica de esta colaboración.

Simultáneamente con la creación de las dedicaciones exclusivas aparecieron las becas externas de la universidad y también del Conicet. Yo obtuve una beca de la Universidad de Buenos Aires para hacer cursos de posgrado en el California Institute of Technology (1961-2). Trabajé en mecánica estadística y aprendí a usar una computadora.

Al regresar a la Argentina los departamentos de Matemáticas, Física y Meteorología se habían mudado a la Ciudad Universitaria y ya estaba instalada la computadora Clementina, la primera en el país.

Continué dando el curso de física de nubes y retomé el contacto con la Dra. Cohan para realizar una tesis doctoral. Ese trabajo finalizó en 1965 con dos publicaciones en *Journal of Chemical Physics* sobre la estructura electrónica del hielo y sus defectos. Fueron los primeros cálculos con computadora realizados en el país en este tema.

La colaboración continuó a pesar del alejamiento físico, ya que la Dra. Cohan viajó a los Estados Unidos en 1965 y posteriormente a México. Yo lo hice unos meses más tarde, después de la “noche de los bastones largos”, primero a Estados Unidos y luego a Chile. Nos reunimos para discutir los trabajos en común, siempre relacionados con el agua o el hielo, por lo menos una vez en México y una en Chile.

En 1972 regresé a la Argentina como miembro de la Carrera del Investigador de Conicet, cargo que mantuve hasta la jubilación en 2006. Con la Dra. Cohan compartimos una oficina en la Comisión Nacional de Energía Atómica durante varios años. Allí dirigimos trabajos de estudiantes y desarrollamos programas para el estudio de sólidos no periódicos. De esa colaboración salieron 32 publicaciones.

## Segunda parte

### Trabajos en colaboración (y con estudiantes) 1960-83.

Estudiamos varios temas de física con métodos aproximados de la mecánica cuántica, algunos de los cuales además de interesantes eran complejos y son todavía objeto de estudio. Usamos para eso las aproximaciones y las facilidades de computación accesibles en la época. En lo que sigue va una descripción sucinta de cada uno de ellos.

#### a) Puentes de hidrógeno y defectos en hielo

Este tema incluye la tesis de Mariana Weissmann y algunos trabajos posteriores<sup>7</sup>. Es una continuación de la primera colaboración, sugerida por el Doctor Iribarne<sup>8</sup>. En ese estudio se reemplazaban las densidades electrónicas por cargas puntuales y se hacían las cuentas con una calculadora mecánica. Con la Clementina y algún apoyo de máquinas más veloces de Estados Unidos pudimos calcular las energías de formación de los puentes de hidrógeno y de los diferentes defectos de la estructura del hielo usando métodos de la química teórica con orbitales moleculares. Estos trabajos eran competitivos a nivel mundial, tanto que pudimos defender nuestros resultados frente a otros modelos propuestos con un trabajo en la revista en la revista Nature<sup>9</sup>.

La estructura del agua líquida y su relación con la del hielo es un tema muy estudiado hasta el día de hoy, con métodos numéricos y computadoras muchísimo más veloces que en nuestro tiempo pero las ideas propuestas hace 50 años siguen siendo usadas.

#### b) Electrón hidratado

Un fenómeno interesante en la estructura electrónica del agua líquida es la presencia de electrones hidratados. Su existencia se conoce hace más de 50 años, porque producen una luz azul intensa, pero todavía su estructura no está bien entendida. Una puesta al día de este tema apareció en 2017 en "Annual Review of Physical Chemistry"<sup>10</sup>. Son importantes para la química de radiaciones y por sus posibles efectos dañinos para el ADN. Nuestro trabajo de 1970 usaba orbitales moleculares, formados por una combinación lineal de orbitales atómicos. Tuvo bastante éxito, fue citado y también imitado, pero no contenía suficientes orbitales atómicos para describir bien el problema. Un par de años más tarde retomamos el asunto y lo mejoramos incluyendo orbitales atómicos que están desocupados en el agua neutra y obtuvimos una mejor descripción, dentro de las limitaciones computacionales de la época<sup>11</sup>. Este trabajo se realizó con una computadora IBM de tarjetas perforadas, ubicada en el Ministerio de Economía de la Nación, usando un servicio diario de transporte de tarjetas que nos proporcionaba la Comisión Nacional de Energía Atómica.

#### c) Sólidos desordenados. Método de fracciones continuas.

El estudio de materiales sólidos comenzó con la idea de periodicidad de Bloch, como si todos los materiales fueran cristalinos y estuvieran formados por una celda unidad que se repitiera infinitamente. Usando orbitales atómicos eso permitía reemplazar matrices muy grandes por muchas más pero chicas y eso hacía los cálculos posibles. Sin embargo, la mayoría de los materiales tienen defectos y no tienen dimensiones infinitas. Las superficies les otorgan propiedades diferentes. Buscando cómo resolver

este tipo de problemas encontramos un método matemático para tratar matrices grandes del tipo de las que resultan de los orbitales moleculares, que es desarrollarlas en fracciones continuas. Nadie lo había usado para sistemas desordenados o con defectos y por ese motivo nos dedicamos a adaptarlo, buscando la mejor manera de terminar las fracciones continuas, que es algo así como embeber la parte defectuosa del sólido en un medio uniforme<sup>12</sup>. Luego aplicamos este método a diversos problemas, que mencionaremos a continuación.

d) Adsorción de hidrógeno en grafito

Este tema se lo propusimos a Mirta Gordon, una estudiante de doctorado que lamentablemente tuvo que irse del país en 1964, hizo una excelente carrera en Francia, donde ya se jubiló. Con ella hicimos 2 publicaciones<sup>13</sup>. Como simplificación para los cálculos usamos una monocapa de grafito, que hoy es conocida como grafeno y muy estudiada desde que se pudo separar experimentalmente. Por este trabajo se otorgó el premio Nobel de Física 2010 a Andre Geim y Konstantin Novoselov. El problema sigue siendo de gran actualidad, ya que se usa el grafito en las centrales atómicas como moderador de neutrones y se piensa usarlo como contenedor de hidrógeno.

e) Nanosistemas

Cuando la miniaturización empezó a ser importante para la tecnología aparecieron muchos trabajos sobre nanosistemas (entonces conocidos como “clusters”). Interesaba conocer la configuración espacial más estable de sistemas de pocos átomos y su temperatura de fusión. Para estos estudios no solamente usamos la mecánica cuántica sino también la dinámica molecular con potenciales clásicos entre pares de átomos. Nos ocupamos de sistemas bidimensionales de gases nobles adsorbidos sobre superficies como la del grafito y los estudiamos en función de la fuerza de la interacción con la superficie<sup>14</sup>.

f) Sistemas inconmensurados

Con el descubrimiento experimental de los cuasicristales apareció la idea de que había sistemas con dos periodicidades diferentes. Pensamos que se podían tratar como los sistemas desordenados, y le propusimos ese trabajo a una estudiante, Ana María Llois. Ella comenzó su trabajo con nuestra colaboración y lo continuó luego para su tesis doctoral. Calculó los estados electrónicos de un sistema unidimensional con diferentes tipos de modulación entre las dos periodicidades. Lo interesante es que aparecen estados extendidos y otros localizados<sup>15</sup>. Este tema de la localización en sistemas desordenados fue de mucho interés y muchas discusiones entonces y sigue siendo interesante hasta el presente.

g) Aleaciones y superredes metálicas

También con nuestro método de fracciones continuas para el estudio de sistemas desordenados nos ocupamos de aleaciones y de superredes metálicas. Estos sistemas eran de interés para grupos experimentales de La Plata y de Bariloche. La densidad de estados electrónicos se puede ver por fotoemisión y comparar con los resultados de los cálculos. Se puede estimar así cuán desordenada es una aleación o cuán perfectas son las interfaces de una superred. También se puede conocer la transferencia de carga

entre los átomos en función de su entorno<sup>16</sup>. En este tema comenzó a trabajar como estudiante Alfredo Levy Yeyati.

### Tercera parte

#### Mariana Weissmann

Entre 1983 y 2006, como investigadora del Conicet con lugar de trabajo en la Comisión Nacional de Energía Atómica, dirigí trabajos de licenciatura, maestría y doctorado de estudiantes de la Universidad de Buenos Aires, de la Universidad de La Plata y de la Universidad de San Martín. Tuve varios estudiantes de doctorado que hoy son profesionales exitosos y de los cuales estoy muy orgullosa. Cada uno de ellos estudió un material diferente con los mejores métodos de cálculo y facilidades de computación a nuestro alcance. Ana María Llois estudió sistemas que tienen dos periodicidades diferentes, inconmensurables entre sí y que por lo tanto se parecen a los desordenados. Alfredo Levy Yeyati estudió aleaciones amorfas metálicas, sus propiedades hiperfinas y su conductividad eléctrica. Andrés Saúl se ocupó del tema estrella de ese tiempo, los óxidos superconductores con alta temperatura crítica y sus propiedades hiperfinas. El mismo tema, aunque con nuevos códigos mucho más precisos fue estudiado por Ruben Weht. Gabriel Fabricius estudió superficies y superredes metálicas, en particular el error que introduce en los cálculos el efecto derrame o “spill over” de la densidad electrónica en esos casos. Chu Chun Fu estudió los fullerenos, la posibilidad de doparlos con silicio y también las superficies de silicio, sus vibraciones y la interacción con átomos de carbono.

Debido a los bajísimos salarios de la Carrera del Investigador Científico y a las pocas oportunidades que hubo durante muchos años para los jóvenes doctores, varios de estos ex-becarios se radicaron permanentemente en el exterior, son profesores o investigadores en España y en Francia. La colaboración científica de nuestro grupo en Buenos Aires con algunos de ellos se mantiene todavía.

En los últimos años he colaborado con un grupo de la Universidad de La Plata, experimental y teórico, en el estudio de óxidos con propiedades magnéticas. Todos mis trabajos de investigación posteriores a 1983 están descriptos con sus referencias en el primer número de la revista electrónica Reseñas, que edita la Asociación Argentina para el Progreso de la Ciencia<sup>17</sup>.

El cálculo de las propiedades electrónicas de materiales que nosotras comenzamos en 1960 se fue convirtiendo con el tiempo en una herramienta útil para químicos, físicos y tecnólogos. Por ese motivo se formaron otros grupos de trabajo en La Plata, Rosario, Córdoba, Bahía Blanca y Bariloche. Con el entusiasmo organizador del Dr. Osvaldo Rodríguez armamos la “red electrón” que por varios años permitió intercambios y colaboraciones importantes dentro del país. Algunas veces también participaron colegas chilenos y brasileños. El Conicet y la Fundación Antorchas nos ayudaron en ese sentido.

Además de las tareas docentes y de investigación fui miembro de la Comisión Asesora de Física y de la Junta de Calificación de Conicet, fui jurado de numerosas tesis doctorales, y fui la primera mujer miembro de la Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Eso inició mi actividad relacionada con el papel y el reconocimiento del trabajo de la mujer en la ciencia.

## Norah Cohan

En 1985 abandoné el trabajo de investigación porque consideré que si bien era obvio que podía seguir en esa línea con buenos trabajos, era también conciente que no iba a hacer contribuciones decisivas para el avance de la ciencia, que sólo lo hacen muy pocas personas.

Seguí por un tiempo vinculada al ambiente científico: y simultáneamente comencé a pintar, hice varias exposiciones entre 1985 y 1994 y actualmente sigo pintando.

De 1984 a 1988, con la vuelta a la democracia, trabajé en la Secretaria de Ciencia y Técnica que dirigía el Dr. Manuel Sadosky, principalmente colaborando con el retorno al país de científicos argentinos destacados, con la donación de instrumentos valiosos, con la organización de una Escuela de Perfeccionamiento en Matemáticas Avanzadas que tuvo lugar en la Universidad de San Luis con participación de matemáticos del país y de argentinos del exterior.

En 1992 realicé un estudio crítico para la Fundación Antorchas de las becas y subsidios en ciencias, humanidades y artes otorgadas por dicha Institución.

De 1995 a 1998 trabajé en el rectorado de la UBA como coordinadora académica del COPICIT (Consejo para la Promoción de la Investigación Científica y Tecnológica) y, entre otros, realicé un estudio y evaluación del sistema de becas de la UBA.

A partir de 1998 me desvinculé del ambiente científico.

## Referencias

- 1 On the screening constants in the hydrogen molecule, con S. Altmann, *Transactions of the Faraday Society*, (revista que existió hasta 1998).
- 2 Orbital following and lone pair electrons in the ammonia molecule, con C. A. Coulson, *Trans. Far. Soc.*, 52, p.1163, 1956.  
Cellular eigenvalues for titanium metal, con S. Altmann, *Proc. Phys. Soc.* LXXI, p 383, 1958  
Pi electron polarizabilities of some condensed aromatic molecules, con C. Coulson y J. Jamieson, *Trans. Far. Soc.* 53, p. 582, 1957.  
The spherical harmonics with the symmetry of the icosahedral group, *Math. Proc. Camb. Phyl. Soc.* 54, p. 28, 1958.
- 3 Valence bond calculations of the B state of the hydrogen molecule, con C. Tschudi, *J. Chem. Phys.*, 34, p. 40, 1961.  
On the application of two simple approaches of atoms in molecule, con A. Batana, *Proc. Phys. Soc.* 79, p. 279, 1962.  
Approximate natural spin orbitals for the B state of the hydrogen molecule, con A. Batana, *Mol.*

- Phys.*, 2, p. 97, 1964.
- 4 Band Structure of Diamond, con D. Pugh y R. Tredgold, *Proc. Phys. Soc.*, 82, p. 65, 1963.
  - 5 General theorem for multiple-photon processes, con H. Hameka, *Phys. Rev. Letters*, 18 (11), p. 14, 1966.  
Sum-frequency generated spectra of gases and liquids, con H. Hameka, *The Journal of Chemical Physics*, 45, p. 10, 1965.  
Born- Oppenheimer approximation and the calculation of Infrared Intensities, con H. Hameka, *The Journal of Chemical Physics*, 45, 12, p. 3825, 1965.  
Double Photon Contributions to multiple- photon Processes, con H. Hameka, *The Physical Review*, 51, 4, p. 1076, 1966.  
Sum-frequency generation in gases, con H. Hameka, *The Journal of Chemical Physics*, 46, 9, p. 3690, 1967.  
Second harmonic generation in gases and liquids in the presence of a magnetic field, con H. Hameka, *Physica*, 37, p.320, 1967.
  - 6 Electronic energy levels of the S(8) molecule, con A. Palma, *Revista Mexicana de Física*, 19, p. 15, 1970.  
Tunelling in a distortable double well, *Phys. Stat. Sol. (b)*, 65,130, p. 139, 1971.  
Multiple expansions and point charge models, *Molecular Physics*, 17, 3, p. 307, 1969.
  - 7 M. Weissmann y N Cohan, Molecular orbital study of the hydrogen bond in ice, *J. Chem. Phys.*, 43, p.119, 1965.  
M. Weissmann y N Cohan, Molecular orbital study of ionic defects in ice, *J. Chem. Phys.*, 43, p. 124. 1965.  
M. Weissmann, L. Blum y N. Cohan, On the hydrogen bond in an ice-like structure, *Chem. Phys. Lett.*, 1, p. 85, 1967.
  - 8 N. Cohan, M. Cotti, J. Iribarne y M. Weissmann, Electrostatic energies in ice and the formation of defects, *Trans. Far. Soc.*, 58, p. 490, 1962.
  - 9 N. Cohan y M. Weissmann, Valence defects in ice, *Nature*, 201, p. 490, 1964.
  - 10 John M. Herbert y Mark P. Coons The hydrated electron, *Annual Review of Physical Chemistry*, 68, p. 447, 2017.
  - 11 M. Weissmann y N. Cohan, A molecular orbital calculation for the hydrated electron, *Chem. Phys. Lett.*, 7, p. 45, 1970.  
M. Weissmann y N. Cohan, The structure of the hydrated electron, *J. Chem. Phys.*, 59, p. 1385, 1973.  
N. Cohan y M. Weissmann, A quantum electronic polaron model for the solvated electron, *Chem. Phys. Lett.*, 22, p. 287, 1973.  
N. Cohan, G. Finkelstein y M. Weissmann, A comparison between electrons solvated in ammonia and water: the volume expansion, *Chem. Phys. Lett.*, 26, p. 93, 1974.
  - 12 M. Weissmann y N. Cohan, Density of states of disordered systems by the continued fraction method, *J. Phys. C.: Solid St. Phys.*, 8, p. 109, 1975.  
N. Cohan y M. Weissmann, The effect of non-topological disorder on the density of states of Germanium, *Solid State Comm.*, 16, p. 853, 1975.  
M. Weissmann y N. Cohan, Density of states of a one dimensional system with off-diagonal disorder, *J. Phys. C.: Solid St. Phys.*, 8 L, p. 145, 1975.  
M. Weissmann y N. Cohan, Density of states of disordered systems by the continued fraction method: II., *J. Phys. C.:Solid St. Phys.*, 9, p. 473, 1976.  
N. Cohan y M. Weissmann, Density of states of disordered systems by the continued fraction method: III, *J. Phys. C.: Solid St. Phys.*, 10, p. 383, 1977.
  - 13 N. Cohan, M. Gordon y M. Weissmann, Use of the continued fraction method for the study of adsorption: Hydrogen on graphite, *Solid State Comm.*, 20, p. 219, 1976.  
N. Cohan, M. Gordon y M. Weissmann, The effect of non-orthogonality in the study of adsorption: Hydrogen on graphite, *Solid State Comm.*, 22, p. 181, 1977.
  - 14 M. Weissmann y N. Cohan, Molecular Dynamics study of two dimensional and adsorbed microclusters, *J. Chem. Phys.*, 72, p. 4562, 1980.  
M. Weissmann y N. Cohan. Study of two dimensional and adsorbed microclusters by molecular dynamics; International Conference on Ordering in Two Demensions, ed. By Ainha, p. 327, 1980

- 15 A. M. Llois, N. Cohan y M. Weissmann, Calculation of the density of states of NbN<sub>x</sub> by the recursion method, *Solid State Comm.*, 44, p. 681, 1982.  
A. M. Llois, N. Cohan y M. Weissmann, Electronic density of states of incommensurate disordered systems, *Phys. Rev. B*, 27, p. 7379, 1983.
- 16 M. Weissmann y N. Cohan, Charge transfers in structurally disordered alloys, *Phys. Status Solidi (b)*, 113, p. 395, 1982.  
N. Cohan y M. Weissmann, Charge distribution in structurally disordered systems, *Solid State Comm.*, 45, p. 427, 1983.  
A. Levy Yeyati, N. Cohan y M. Weissmann, Electronic densities of states of bimetallic superlattices with interfacial diffusion, *Phys. Rev. B*, 31, p. 873, 1985.
- 17 M. Weissmann, Estructura electrónica de materiales, *Revista Ciencia e Investigación Reseñas*, Tomo 1, p. 77, 2013.

## Capítulo IV

### Entrevista a la Dra. Karen Hallberg

Jorge Norberto Cornejo  
Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)  
Sociedad Científica Argentina

#### Introducción

La Dra. Karen Hallberg es una física argentina, nacida en Rosario, dedicada a desarrollar métodos numéricos para estudiar las propiedades cuánticas de materiales complejos, en particular superconductores. Ha obtenido una gran variedad de premios por su trayectoria. En particular, en 2019 recibió el Premio L'Oréal-UNESCO a Mujeres en Ciencia.

Actualmente es investigadora Principal del CONICET en el Centro Atómico Bariloche y profesora Asociada del Instituto Balseiro, Comisión Nacional de Energía Atómica y Universidad Nacional de Cuyo.

Lo que sigue es una entrevista realizada vía correo electrónico por el autor a la Dra. Hallberg, que la respondió ampliamente, mostrando aspectos muy interesantes de las investigaciones en física que desde hace tiempo se realizan en la Argentina.

#### Entrevista realizada a la Dra. Karen Hallberg, en forma electrónica, el 12 de enero de 2022.

**1. Estimada Dra. Hallberg, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

El comportamiento de la materia a nivel atómico presenta propiedades fascinantes que están descritas por los fundamentos de la Física Cuántica. Entre estas propiedades se encuentra el comportamiento ondulatorio de los electrones, el espín o momento magnético de los electrones y de los núcleos atómicos, el principio de Pauli que nos dice que dos electrones no pueden compartir el mismo estado cuántico y el hecho de que los átomos y moléculas presentan energías discretas y no un continuo de valores. La Física Cuántica también nos permite analizar y entender, por ejemplo, los materiales con rayos X y entender su estructura (así fue cómo Rosalind Franklin descubrió la estructura helicoidal del ADN), por qué algunos materiales conducen la corriente eléctrica y otros no, por qué algunos materiales son magnéticos y otros no, por qué algunos son semiconductores y otros son superconductores (o sea, la corriente eléctrica no encuentra resistencia en el material), qué y cómo se unen los átomos para

formar la materia. Toda la electrónica moderna, por ejemplo, fue desarrollada en base a descubrimientos y avances en este sentido.

Por otro lado, cuando se combinan átomos para formar un sólido, pueden surgir nuevos fenómenos físicos que no son predichos por el conocimiento de las propiedades físicas de los componentes individuales. Esto es conocido como comportamiento emergente y significa que el todo es diferente a la suma de sus partes. En física, la reducción de un problema a las leyes fundamentales a una escala más pequeña no implica la validez de la metodología inversa, esto es, la reconstrucción de las leyes de la física a escalas mayores a partir de leyes más fundamentales.

Esto es particularmente relevante en materiales con electrones fuertemente interactuantes en los que la física de muchos cuerpos juega un rol fundamental y que muestran fenómenos emergentes muy interesantes como la superconductividad, la magnetorresistencia colosal, las transiciones metal-aislante, el magnetismo, entre otros.

Debido a la gigantesca cantidad de variables y de estados involucrados (que crece exponencialmente con el número de electrones, por ejemplo), estos sistemas se encuentran entre los que presentan los problemas más complejos de la física y para los cuales se vuelve necesario recurrir a técnicas computacionales que optimicen la información. Con mi grupo de investigación desarrollamos códigos computacionales complejos que se basan en conceptos de la información cuántica para filtrar únicamente la información relevante al problema que nos interesa. Nuestro objetivo es descubrir propiedades novedosas y describir los experimentos. Por ejemplo, queremos entender el mecanismo microscópico que produce la superconductividad a temperaturas mayores a las esperadas, que fue descubierta en 1986, que le mereció el Premio Nobel a sus descubridores pero que ¡todavía no se entiende!

Uno de nuestros trabajos que tuvo mucha repercusión fue el desarrollo de una técnica computacional (“Grupo de Renormalización con Matriz de Densidad”)<sup>1</sup> para el cálculo de propiedades dinámicas de electrones en materiales con interacciones fuertes. A partir de ahí implementamos este código a diversos problemas, entre los cuales se encuentra el cálculo de la densidad de estados de electrones (cuántos estados cuánticos hay según la energía de los electrones) para los modelos paradigmáticos de la materia condensada<sup>2</sup>. Por ejemplo, debido a la precisión con la que podemos calcular esta distribución de estados, pudimos observar estados nuevos, no observados previamente, que caracterizamos como nuevas cuasipartículas (o sea, una combinación de estados electrónicos que tiene una dinámica propia)<sup>3</sup>. El hecho de poder discriminar en detalle estas excitaciones es un paso importante para el entendimiento microscópico de materiales novedosos.

También estudiamos el comportamiento cuántico de sistemas nanoscópicos (de tamaños muy pequeños, en la escala atómica), como el paso de la corriente a través de moléculas individuales (¡que se logra medir!), la interferencia de las ondas electrónicas (que es muy parecida a la interferencia de ondas de agua, por ejemplo).

Un resultado interesante que obtuvimos hace mucho tiempo junto con mi director de tesis doctoral, Carlos Balseiro, y otro estudiante en ese momento, Eduardo Jagla,

es la observación computacional de que, cuando tenemos electrones interactuando fuertemente en un sistema unidimensional (una cadena), el electrón se puede dividir en dos: una parte lleva su momento magnético (espín) y la otra se lleva su carga. Este fenómeno es conocido como la separación de carga y espín del electrón<sup>4</sup>. Casi tres décadas más tarde, en 2020, el grupo de inteligencia artificial de Google reprodujo este resultado con su flamante computadora cuántica Sycamore, basada en resonadores superconductores<sup>5</sup>. ¡Este es un ejemplo de cómo a veces los resultados y desarrollos de la investigación pueden tener aplicaciones impensadas en su momento!

## **2. ¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Los códigos básicos en los que basamos nuestra investigación fueron desarrollados durante mi estadía posdoctoral en los Institutos Max-Planck de Física del Sólido (Stuttgart, Alemania) y en el de la Física de Sistemas Complejos (Dresde, Alemania) entre 1993 y 1997, inmediatamente después del desarrollo original de esta técnica (el grupo de renormalización con matriz densidad, DMRG) por Steve White (Irvine, EEUU), por lo que deben haber estado entre los primeros programas desarrollados fuera de su grupo.

Estos códigos estaban basados en los que desarrollé durante mi tesis doctoral en Bariloche, que a su vez, estaban basados en los que desarrolló Eduardo Gagliano (lamentablemente fallecido joven, a fines del siglo pasado). Debo reconocer que cuando empecé mi doctorado no estaba muy familiarizada con el cálculo numérico y fue Eduardo quien me entusiasmó con esta técnica fundamental y quien me enseñó los primeros pasos, por lo que le estoy muy agradecida.

Después de mi estadía posdoctoral regresé al país con un puesto en el CONICET en el Grupo de Teoría de la Materia Condensada en el Centro Atómico Bariloche (Comisión Nacional de Energía Atómica), donde continué hasta el día de hoy con esta temática, desarrollando, junto con mis alumnos y mi grupo, otras técnicas y nuevas aplicaciones.

## **3. ¿Qué la llevó a interesarse por esa temática?**

En 1986, cuando estaba terminando mi carrera de licenciatura en el Instituto Balseiro, en Bariloche, hubo una noticia que nos sacudió a todos: fue el descubrimiento de la superconductividad de alta temperatura crítica en IBM, Suiza, por los físicos Bednorz y Mueller, cosa que les mereció el Premio Nobel de Física al año siguiente, algo muy inusual pero que habla de la importancia de este descubrimiento. Yo estaba trabajando en mi tesis en el Laboratorio de Bajas Temperaturas del Centro Atómico Bariloche bajo la dirección de Paco de la Cruz. Este descubrimiento produjo un entusiasmo enorme en la comunidad, especialmente en el laboratorio. La experiencia en el crecimiento de cristales de Daniel Esparza y su grupo y en técnicas experimentales en bajas temperaturas lideradas por Paco de la Cruz y su equipo, permitieron reproducir los resultados en muy poco tiempo. El hecho tuvo una enorme repercusión en los medios (ver por ejemplo foto publicada en la revista La Semana el 25/03/87).



El entusiasmo generado por haber podido compartir la reproducción casi inmediata de uno de los descubrimientos más importantes del siglo pasado, me inspiró a continuar con esta línea de investigación, decidiendo dedicar mi doctorado a entender los mecanismos microscópicos detrás de estos fenómenos. Entonces me incorporé al grupo de Teoría de Sólidos del Centro Atómico Bariloche, que ya contaba con una amplia experiencia en el estudio de materiales con características similares a los superconductores recientemente descubiertos (esto es, materiales compuestos con electrones fuertemente interactuantes). Me sentí muy afortunada de poder contar con esta posibilidad de incorporarme a un grupo maduro en esta temática, producto del trabajo pionero de investigadores de la talla de Blas Alascio, Arturo López Dávalos<sup>6</sup> y, por supuesto, del gran visionario y padre de nuestra institución, José Antonio Balseiro.

#### 4. ¿Cuáles fueron los investigadores que la precedieron en este campo de estudio?

Actualmente, el DMRG<sup>7</sup> es una técnica numérica que se ha vuelto ampliamente utilizada y que ha demostrado ser notablemente exitosa para estudiar sistemas cuánticos de muchos cuerpos que interactúan, como superconductores de alta temperatura, materiales magnéticos y una gran variedad de otros modelos y materiales novedosos. Como mencionamos arriba, estos se encuentran entre los problemas físicos más difíciles de resolver. Esto se debe a que, debido a las interacciones entre los electrones, el número de grados de libertad o de estados cuánticos a considerar crece exponencialmente con el número de partículas. Usando conceptos de información cuántica, este método filtra de manera óptima los estados cuánticos más relevantes. Esto ha allanado el camino hacia una nueva manera de representar los estados cuánticos, usando redes de tensores junto con algoritmos novedosos de renormalización del entrelazamiento

cuántico (MERA)<sup>8</sup>. Estos métodos se han desarrollado, también, en direcciones inimaginables hasta hace unos pocos años, como su relación con el principio holográfico y la correspondencia AdS/CFT en gravedad cuántica (descubierta por otro físico argentino, Juan Martín Maldacena)<sup>9</sup>. Hoy en día, la técnica de redes de tensores está evolucionando rápidamente hacia un campo interdisciplinario que involucra, además de varios campos de la física, la química, la matemática, la computación, la biología y la computación cuántica.

### **5. ¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

La física de sistemas correlacionados y de la materia cuántica condensada se dio muy tempranamente en nuestro país, tanto teórica como experimentalmente, especialmente debido al interés en la física del sólido y de materiales desde el comienzo del desarrollo de la física argentina. Desde hace varias décadas hay muy buenos grupos de investigación en la temática en el Centro Atómico Bariloche, en la Universidad de Buenos Aires, en el Centro Atómico Constituyentes, también de la CNEA y más recientemente en la UNSAM, en la Universidad Nacional de La Plata (particularmente en teorías de campo cuántico), en el FAMAF de Córdoba (con avances importantes en decoherencia cuántica), en la Universidad Nacional de Rosario (donde hay un grupo de desarrollo del DMRG) y en la Universidad Nacional de Tucumán (particularmente en aplicaciones).

### **6. ¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

En la actualidad no se puede avanzar en ciencia si no es a través de colaboraciones y los trabajos en conjunto con investigadores del mismo centro y de otros centros de excelencia resulta fundamental. Aún en la era de las comunicaciones en la que tenemos acceso inmediato a las publicaciones más recientes, los contactos y las colaboraciones internacionales siguen siendo indispensables para mantenerse en la frontera del conocimiento.

A lo largo de mi carrera estoy agradecida de haber podido contar con la colaboración de físicos con quienes he disfrutado de intensos intercambios intelectuales y profesionales y de quienes aprendí todo lo que no se aprende de los libros. Entre los colaboradores locales he trabajado con Carlos Balseiro (mi mentor académico), Eduardo Gagliano, Blas Alascio, Armando Aligia, César Proetto, Pablo Cornaglia, Eduardo Jagla, Marcelo Kuperman, Gonzalo Torroba, Jorge Facio, Liliana Arrachea (Buenos Aires), María Eugenia Torio, José Riera y Alejandro Ceccatto (Rosario), Rubén Weht (Buenos Aires) y con mis estudiantes en su momento (aunque no sólo en calidad de estudiantes) Daniel García, Marco Nizama (de Perú), Yuriel Núñez-Fernández (de Cuba), Julián Rincón (de Colombia), Hernán Fernández García (de Cuba), Philip Murphy y Nair Aucar.

A nivel internacional he disfrutado de colaboraciones con Gabriel Kotliar (Rutgers), Andrei Ruckenstein (Boston), Cristian Batista y Gerardo Ortiz (Los Alamos y Bariloche), Alberto Rojo (Michigan y Bariloche), Elbio Dagotto y Adriana Moreo (Oak Ridge), Marcelo Rozenberg (Orsay), Michel Avignon (Grenoble), Frédéric Mila y Didier Poilblanc (Toulouse), Diego Frustaglia (Sevilla), Peter Horsch (Stuttgart), Reinhold

Egger (Freiburg), Erwin Mueller-Hartmann (Köln), Arno Kampf y Dieter Vollhardt (Augsburg), Thomas Pruschke (Göttingen), Ingo Peschel (Berlin), Peter Fulde, Karlo Penc, Sergej Flach y Matthias Vojta (Dresden), Bruce Normand (Suiza), Masatoshi Imada y Hiroyuki Shiba (Tokio), S. Ramasesha (Bengaluru), Xiaoqun Wang (Pekin), David Gottlieb y Miguel Lagos (Chile), Jose d'Albuquerque e Castro (Rio de Janeiro), Gerardo Martínez y Roberto Iglesias (Porto Alegre), Eduardo Miranda (Campinas), entre otros.

### **7. ¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Si bien no tengo publicaciones científicas con investigadores de otras disciplinas, he disfrutado de discusiones concretas sobre los temas de investigación con profesionales de otras disciplinas, por ejemplo de ciencias de la computación y de matemática. En particular, agradezco el intercambio que tuve y sigo teniendo con Ingrid Daubechies, reconocida física y matemática belga/estadounidense que desarrolló métodos eficientes para la tecnología de compresión de imágenes y de señales. Encontramos que sus transformaciones de ondeletas (“wavelets”) pueden ser importantes para la optimización de la información cuántica en nuestros estudios.

### **8. Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

Como reflexión final querría comentar sobre un hecho que me preocupó a lo largo de toda mi carrera como física. Se trata de la bajísima proporción de mujeres y de profesionales provenientes de grupos sociales más desaventajados, en carreras como física, computación, matemática e ingenierías (fenómeno que se repite a nivel mundial). Baste como ejemplo y teniendo en cuenta solo mis colaboradores, de entre más de 50, ¡cuento con menos del 10% de colaboras mujeres! Estas especialidades siguen siendo consideradas inalcanzables e incomprensibles por parte de una gran mayoría de la población.

Algunos cambios se vienen dando de una forma muy paulatina y resulta necesario pensar e implementar políticas más profundas. Además de asegurar sin demoras una educación efectiva y equitativa, es importante formar a los jóvenes desde muy pequeños para que adquieran las actitudes y los valores que nos provee el pensamiento científico. Entre las actitudes podemos mencionar el razonamiento crítico para discernir lo verdadero de lo falso o engañoso, el analítico para ser preciso y cuantitativo, la concentración para reflexionar y aumentar las capacidades cognitivas y la creatividad para encontrar soluciones innovativas. Como valores son fundamentales la honestidad intelectual, el reconocimiento del error, la argumentación basada en evidencias y el respeto por el trabajo ajeno.

En conclusión, necesitamos un aumento importante en el número de egresados en ciencias exactas y naturales, computación, informática e ingenierías y en carreras técnicas. Y un incremento aún mayor en el porcentaje de mujeres formadas en estas profesiones. No hay ninguna razón por la que no deba haber una paridad de género en estas carreras. Debemos tomar conciencia de que no habremos madurado hacia una sociedad equitativa mientras persistan diferencias de género y de oportunidades para todos los jóvenes de nuestra sociedad.

## Referencias

- 1 K. Hallberg, "Density-matrix Algorithm for the Calculation of Dynamical Properties of Low Dimensional Systems", *Phys. Rev. B* 52, 9827 (1995).
- 2 Y. Núñez-Fernández and K. Hallberg, "Solving the Multi-site and Multi-orbital Dynamical Mean Field Theory using Density Matrix Renormalization", *Front. Phys.* 6:13 (2018).
- 3 Y. Núñez-Fernández, G. Kotliar, and K. Hallberg, "Emergent Low-energy Bound States in the Two-orbital Hubbard Model", *Phys. Rev. B (Rapid Comm.)* 97, 121113(R) (2018).  
N. Aúcar Boidi, H. Fernández García, Y. Núñez-Fernández, and K. Hallberg, "In-gap Band in the One-dimensional Two-orbital Kanamori-Hubbard Model with Interorbital Coulomb Interaction", *Phys. Rev. Res.*, 3, 043213 (2021).
- 4 E. Jagla, K. Hallberg and C. Balseiro, "Numerical Study of Charge and Spin Separation in Low Dimensional Systems", *Phys. Rev. B.* 47, 5849 (1993).
- 5 Google AI Quantum and collaborators, "Observation of Separated Dynamics of Charge and Spin in the Fermi-Hubbard Model", arXiv:2010.07965
- 6 Ciencia e Investigación: Reseñas, Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias, tomo 2, Núm 2, (2014).  
<https://aargentinapciencias.org/publicaciones/revista-resenas/resenas-tomo-2-no-2-2014/>;  
<http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/Resenas/R-tomo2-2/2ArturoLopezDavalosResN2-2-2014-3.pdf>;  
<http://aargentinapciencias.org/wp-content/uploads/2018/01/Resenas/R-tomo2-2/1BlasAlascioResN2-2-2014-2.pdf>
- 7 S. R. White, "Density Matrix Formulation for Quantum Renormalization Groups", *Phys. Rev. Lett.* 69 (19), 2863 (1992).  
K. Hallberg, "New Trends in Density Matrix Renormalization". *Advances in Physics* 55 (5-6), 477-526 (2006).
- 8 U. Schollwöck, "The Density-matrix Renormalization Group in the Age of Matrix Product States", *Annals of physics* 326 (1), 96-192 (2011);  
S. Ryu, T. Takayanagi, "Holographic Derivation of Entanglement Entropy from the anti-de Sitter Space/Conformal Field Theory Correspondence", *Phys. Rev. Lett.* 96, 181602 (2006);  
B. Swingle, "Entanglement Renormalization and Holography", *Phys. Rev. D* 86, 065007 (2012);  
G. Evenbly, G. Vidal, "Tensor Network States and Geometry", *J. Stat. Phys.* 145, 891–918 (2011).
- 9 J.M. Maldacena, "The Large N Limit of Superconformal Field Theories and Supergravity", *Adv. Theor. Math. Phys.* 2, 231 (1998).

## Capítulo V

### El Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson

Jorge Norberto Cornejo  
Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)  
Sociedad Científica Argentina

**Nota:** esta es una síntesis del documento “Instituto Dan Beninson”, facilitado por las autoridades de dicho Instituto al autor del presente trabajo, quien le agradece a Ana María Lerner, Secretaria Académica del mismo.

#### **Antecedentes**

El Instituto Dan Beninson reconoce una amplia variedad de antecedentes que giran alrededor de la formación de recursos humanos en áreas del conocimiento relevantes para la tecnología nuclear y que por diversos motivos no fueron oportunamente incorporados o lo fueron sólo parcialmente, a las actividades académicas del ámbito universitario. Entre ellas podemos mencionar: Reactores Nucleares, Radioquímica, Medicina Nuclear, Aplicaciones Nucleares, Dosimetría y Física de la Radioterapia.

En particular, en la región metropolitana, estos conocimientos se impartían históricamente en cursos ad-hoc asociados a Sede Central y los Centros Atómicos Ezeiza (CAE) y Constituyentes (CAC). Los cursos dictados al respecto dotaron de la formación necesaria al personal que debía desempeñarse en proyectos prioritarios de CNEA y fueron la capacitación básica para profesionales y técnicos que luego formaron parte de los centros pioneros de producción de radioisótopos, medicina nuclear, servicios de radioterapia y de los reactores RA-1, RA-2 y RA-3, del reactor para Perú, RP-10, así como de los planteles de las primeras centrales nucleares que se construyeron en el país (Atucha I y Embalse).

#### ***Ingeniería Nuclear***

La formación en el tema reactores nucleares se inició muy tempranamente en la institución. En 1953 se dictó el primer curso de reactores, una parte en Buenos Aires y otra en Bariloche, el segundo en 1955 y en 1956 y 1957 se dictaron dos cursos más extensos, también en Bariloche. A mediados de 1960 se reinició la actividad en Buenos Aires que culminó en 1973 con la firma de un convenio entre CNEA y la Universidad de Buenos Aires (UBA) para el curso conjunto de Ingeniería Nuclear con la facultad de Ingeniería que se dictaba fundamentalmente en el Departamento de Reactores del CAC. Este curso permitió formar a los profesionales que iban a tener una actuación

protagónica en relación con los grupos de reactores de CAC y CAE y que participaría en las actividades en torno a los reactores de investigación y producción (RA-1; RA-2, RA-3 y RP-10) y las primeras centrales nucleares. El curso era dirigido por la Lic. Clara Mattei, quien había sido alumna del primer curso de reactores dictado en el país (1953) por el Dr. Luis Santaló.

En 1980 se firmó otro convenio con la UBA que convirtió al curso anterior en un Curso de Posgrado, siempre dirigido por Clara Mattei. Este curso se mantuvo, con las dificultades propias de la administración y gracias al tesón de su directora hasta 1994, año en el cual la CNEA fue dividida en tres sectores: una CNEA redimensionada, un ente regulador (ENRE, luego ARN) y una empresa de operación de centrales nucleares (NASA). Esta reestructuración del sector nuclear tuvo, para el área de reactores de CNEA en Buenos Aires, un efecto devastador debido a que allí se concentraba el grupo de especialistas en las principales ramas de diseño y análisis ingenieril de reactores nucleares. La división produjo una dispersión anárquica de capacidades en las tres instituciones. Con el tiempo, esto habría de revertirse con la consolidación en CNEA-CAC de un sector llamado “Unidad de Actividad de Reactores y Centrales Nucleares” dirigido por el Dr. Roberto Corcuera, quien lograra reunir un significativo grupo de profesionales y técnicos que abordaron importantes proyectos en relación con los reactores y las centrales nucleares argentinas.

Sin embargo en este período se produjo la pérdida del convenio con UBA, el cual fue reemplazado por otro que, al tiempo que lo anulaba, establecía un vínculo con el Centro Atómico Bariloche para la creación de la carrera de Especialización en Aplicaciones Tecnológicas de la Energía Nuclear, con una orientación más generalista. De esta manera el grupo de reactores de Buenos Aires quedaba privado del manejo de un curso que respondiera a sus necesidades y mantuviera el importante vínculo de sus tecnólogos con la docencia. En 1998 se firmó un convenio con la Universidad Tecnológica Nacional (UTN), facultad Buenos Aires, que puso remedio a esta carencia, con la creación de dos maestrías: “Maestría en Reactores Nucleares”, con sede en el CAC y “Maestría en Radioquímica” con sede en el CAE, ambas amparadas por el Instituto de Estudios Nucleares (IDEN) que funcionaba en el CAE bajo la dirección del Dr. Dino Otero. El convenio no se renovó y la actividad se discontinuó en el año 2006. Finalmente, en diciembre de 2006, se firmó un convenio con la Universidad Nacional de San Martín (UNSAM), impulsado por el entonces presidente de CNEA Dr. José Abriata, para la creación del “Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson” (IDB), que sería el tercer instituto académico de CNEA con sede en CAE y subsede en el CAC. En este nuevo contexto se iniciaron las carreras de Especialización en “Reactores Nucleares y su Ciclo de Combustible” (ERNyC, 2007) y de “Radioquímica y Aplicaciones Nucleares” (ERAN, 2008) en el marco de UNSAM.

### *Radioquímica*

Las primeras actividades en el ámbito radioquímico en la Argentina datan de 1949, con la llegada a la Universidad Nacional de Tucumán del científico alemán Walter

Seelmann Eggebert, autor de la internacionalmente reconocida Tabla de Nucleídos del Centro de Investigaciones Karlsruhe. Poco tiempo después se incorporó a la CNEA, fundada en 1950, generando así el primer grupo de radioquímicos que sentó las bases para una labor sostenida y continua, que marcó hitos tales como el descubrimiento de veinte nuevos radioisótopos utilizando el Sincrociclotrón Philips instalado por entonces en la Sede Central de CNEA, y que al presente se traduce en importantes realizaciones en la investigación científica, el desarrollo de la tecnología vinculada a todos los aspectos del ciclo de combustible nuclear, la producción de radioisótopos y sus diferentes aplicaciones en medicina, industria, agricultura, y estudios sobre el medio ambiente, por citar solo algunas. Los discípulos de Seelmann Eggebert que trascendieron como el "Grupo de Buenos Aires" ampliaron y difundieron los conocimientos adquiridos, aplicándolos en diversos campos, en diferentes laboratorios e instalaciones de CNEA, con proyección en varias universidades, institutos de investigación y empresas privadas de todo el país. En 1953 se creó la Cátedra de Radioquímica y Química Nuclear de la Universidad de Buenos Aires (UBA), que se dictó por varios años en los laboratorios de radioquímica de la CNEA y luego en laboratorios propios de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, de Ciudad Universitaria, bajo la dirección de los Dres. Rafael Rodríguez Pasqués y Roberto Marqués, ambos de CNEA; trasladada no hace muchos años al INGEIS-CONICET-UBA donde continúa. En 1960, Flegenhimer y Radicella, del grupo de radioquímica de la CNEA crearon, en la facultad de Bioquímica y Farmacia de la UBA, la Cátedra de Metodología de Radioisótopos, orientada esencialmente a las actividades biomédicas. Estas fueron las actividades iniciales para la formación de recursos humanos en el tema.

Más recientemente, cabe mencionar la Especialización y Maestría en Radioquímica que se dictó por el convenio antes mencionado entre CNEA y UTN-facultad Buenos Aires, que se inició en 1999 y que se discontinuó en el año 2006. La creación del Instituto Beninson en 2006 brindó el marco para la continuación de las actividades de posgrado en la disciplina, a través de la ERAN.

### ***Dosimetría y Física de la Radioterapia***

Ambos cursos tienen como característica que fueron creados por CNEA para generar recursos humanos con buena formación en aplicaciones radiantes a seres humanos, siendo la radioterapia la aplicación radiante que utiliza las dosis más altas dentro de las aplicaciones médicas.

### ***Dosimetría en Radioterapia***

Comenzó en 1964 orientado principalmente a los médicos, dado que en ese momento no había físicos trabajando en hospitales. Su implementación coincidió con la introducción en el país de los primeros equipos de telecobaltoterapia. Simultáneamente se trabajó en la regulación de la actividad tendiente a lograr una formación adecuada para

médicos y físicos de manera de proteger al paciente y optimizar los tratamientos, así como la obligatoriedad de contar con un físico médico en los centros de Radioterapia para realizar las planificaciones de los tratamientos.

Inicialmente se dictaba una semana de repaso matemático, luego se cambió esa semana por un examen de ingreso eliminatorio para lograr una buena nivelación y aprovechamiento del curso.

### *Física de la Radioterapia*

Comenzó a dictarse en 1979, con el ingreso de los primeros aceleradores lineales para terapia. Su orientación es hacia físicos o egresados de carreras afines. Es y sigue siendo obligatorio para físicos que trabajan en planificación de tratamientos junto al médico radioterapeuta. Se acercan más bioingenieros que físicos a esta especialidad, aunque es de mencionar que la formación de los físicos es más adecuada. Tradicionalmente ha sido un curso con cohortes pequeñas porque se requieren prácticas en hospitales donde no es posible realizarlas con muchos alumnos, y donde no se pueden hacer prácticas en horario de atención de pacientes. Lo mismo ocurre con el laboratorio secundario de calibraciones dosimétricas (CAE).

A pesar de la trascendencia del tema en el área de la salud pública, estos cursos no han tenido una cobertura académica adecuada hasta la creación del IDB. Los cursos formaron parte de la currícula de la Maestría en Física Médica de UBA, creada por la Lic. Mariana Cabrejas, de CNEA y que está en proceso de reorganización. Recientemente, la Universidad Nacional de San Martín ha creado la carrera de Especialización en Física de la Radioterapia que jerarquiza la actividad dándole el encuadre adecuado, aprovechando la extensa y exitosa experiencia de los cursos mencionados.

### *Metodología y Aplicación de Radioisótopos*

Los dos primeros cursos de Metodología y Aplicación de Radionucleidos se dictaron en 1958 y Dan Beninson fue el primer director del mismo. El curso surgió en respuesta a la necesidad de formar profesionales con conocimientos que los capaciten para el uso de los radioisótopos destinados fundamentalmente, a ramas de la Medicina y la Bioquímica. En la actualidad, en el curso se inscriben profesionales provenientes de distintos ámbitos disciplinarios. Más adelante la Dra. Josefina Rodríguez tomó la dirección por muchos años.

Se han dictado más de un centenar de cursos en distintas partes del país: Córdoba, San Juan, Mendoza, Salta, Tucumán, Santa Fe, Bahía Blanca, Mar del Plata, Rosario, La Plata y Paraná. Estos han sido solicitados, en su mayoría, por universidades que han mantenido convenios de colaboración con la CNEA. Algunos de ellos han sido solicitados por colegios o círculos de profesionales. Dos de los Cursos han tenido carácter internacional y fueron auspiciados por el Organismo Internacional de Energía Atómica. Han egresado ya más de 1900 profesionales de diversas áreas de formación: médicos, bioquímicos, químicos, físicos, ingenieros y bioingenieros, la mayoría de los

cuales obtuvo licencias y permisos individuales para uso de radioisótopos por parte de ARN, pues era el único curso reconocido para tal fin.

El objetivo del curso es el de suministrar los conocimientos teóricos y el entrenamiento necesarios para la utilización y aplicación de las sustancias radiactivas en seres humanos, teniendo en cuenta los criterios de Protección Radiológica y Seguridad Radiológica. Es necesario, además, para cumplimentar uno de los requisitos de las normas vigentes para el uso de radionucleídos “in vivo” e “in vitro”, que es el de acceder al Permiso Individual y obtener determinados tipos de Licencias Operativas. Se trata de un curso teórico-práctico donde los alumnos tienen oportunidad de conocer y manejar los equipos utilizados en la medición de las radiaciones.

### *Medicina Nuclear*

El desarrollo de las actividades de formación de recursos humanos en medicina nuclear estuvo desde sus inicios vinculado al uso de radioisótopos en el área médica por lo cual, la historia de la capacitación en medicina nuclear estuvo ligada al curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos, que hoy es parte ineludible de la formación de un especialista en medicina nuclear.

Desde su Centro de Medicina Nuclear en el Hospital de Clínicas, CNEA ha sido sede de la cátedra de la UBA de la Especialidad de Medicina Nuclear para médicos, con su residencia correspondiente, desde 1977. Desde el año 2007, CNEA contribuye fuertemente al desarrollo nacional y regional en física médica a través de la Maestría del Instituto Balseiro, ya mencionada, y el entrenamiento básico en la FUESMEN. El esfuerzo se ve valorizado por la inmediata inserción laboral de estos profesionales.

También se destacan la carrera para técnicos universitarios en medicina nuclear desarrollados desde el 2009 por convenio con la Facultad de Farmacia y Bioquímica (UBA) y los sucesivos cursos para entrenamiento a distancia (web) en sistemas híbridos SPECT/CT y PET/CT cursados tanto por tecnólogos como por médicos nucleares que se dictan anualmente desde 2012.

Los profesionales capacitados en laboratorios y centros médicos de CNEA, participan en proyectos de investigación coordinados con el OIEA y con diferentes universidades; así como en el intercambio científico local, nacional, regional y con las diferentes comunidades científicas del mundo.

La actividad docente en todos estos temas, se nutre de la experiencia y capacidades de los docentes, que son mayoritariamente personal de CNEA, y que han sido adquiridas a lo largo de los años a través de numerosos programas de investigación y desarrollo. A modo de ejemplo pueden mencionarse el desarrollo original del coloide para marcación de ganglio centinela; los estudios con radiofármacos paliativos del dolor óseo con samario-153 y más recientemente con lutecio-177, en los que han participado tanto profesionales médicos en la validación en ensayos clínicos en fase I y fase II como físicos médicos en los correspondientes controles dosimétricos; las radiosinevectomías con fósforo-32, tratamiento que disminuye el costo en los factores antihemofílicos para los pacientes; el proyecto de BNCT (terapia por captura neutrónica en boro),

el desarrollo de membranas para quemaduras, bancos de tejidos, esterilización de tejidos humanos, desarrollo de composites para injertos, la irradiación de alimentos y productos biomédicos, entre varias aplicaciones de gran importancia para el país y la región.

Históricamente la CNEA estableció dos Centros de Medicina Nuclear en Buenos Aires: uno en el Hospital de Clínicas desde 1962 y otro en el Instituto de Oncología "Ángel Roffo" desde 1969. Al iniciarse la década de 1990 se estableció la FUESMEN en Mendoza que con instrumental de última tecnología permite el entrenamiento de profesionales altamente especializados, y más recientemente (2004) se estableció en Buenos Aires la FCDN con características similares.

Personal de CNEA, en todas estas Instituciones, realiza tareas de investigación, desarrollo, docencia y asistenciales. Una de sus funciones es la validación de nuevos radiofármacos, desarrollados en el Centro Atómico Ezeiza, para el diagnóstico y tratamiento de diferentes enfermedades. Entre los estudios más recientes pueden mencionarse las aplicaciones en infecciones e inflamaciones, ganglio centinela en tumores, paliación del dolor, radiosinovectomías, diagnóstico de tumores, etc. También se participa en ensayos internacionales de validación de radiofármacos promovidas por el OIEA.

En el marco del Plan Nacional de Medicina Nuclear se inscribe la creación del Centro Universitario de Imágenes Médicas en el campus de la UNSAM que se propone el logro de avances en aspectos teóricos, prácticos y metodológicos en el área de las imágenes médicas.

### **Creación del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson**

El 21 de noviembre de 2006 se firmó un convenio entre la CNEA y UNSAM para la creación del Instituto. Como anexos al convenio se incorporó la creación de las carreras de posgrado: Especialización en Radioquímica y Aplicaciones Nucleares y Especialización en Reactores Nucleares y su Ciclo de Combustible. Con la creación de nuevas carreras, éstas se incorporan como nuevos anexos al convenio original. El convenio fue firmado por el Dr. José Pablo Abriata como Presidente de CNEA y por el Lic. Carlos Rafael Ruta como Rector de UNSAM.

Desde ese momento la Lic. Carla Notari actuó como Directora del Instituto, formalizándose el cargo en el año 2009 por la Resol. Rectoral 596/09.

Los años que siguieron a la creación del Instituto registraron una multiplicación de actividades académicas y de formación continua que se describen más adelante y que constituyen un avance palpable en la formación de recursos humanos especializados en el área nuclear.

### **Desarrollo de la oferta académica**

Desde sus inicios y hasta el presente, el Instituto se caracterizó por la complementación entre las actividades académicas y las necesidades operativas del sector nuclear.

Es así que se transformaron en cursos formales, un buen número de actividades de capacitación indispensables para la operación de las plantas del ciclo de combustible nuclear, incluidas las centrales nucleares, con el necesario reconocimiento de la capacitación brindada y el certificado correspondiente emitido, por parte de la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN).

### ***Carreras. Objetivos. Acreditaciones***

La creación de carreras en el ámbito del Instituto recorrió una trayectoria que mucho tiene que ver con los antecedentes históricos de formación y capacitación de recursos humanos en áreas vinculadas con los radioisótopos y las radiaciones, que fue siempre uno de los objetivos de la CNEA.

En ese sentido, el convenio entre la Universidad Nacional de General San Martín (UNSAM) y la CNEA para la creación del Instituto, sentó las bases que brindaron el marco académico adecuado para que el Instituto reformulara algunas de las actividades de formación y capacitación preexistentes en la CNEA, construyendo un entorno educativo formal nuevo en esta área. Todos los títulos de las carreras del Instituto, tanto para el pregrado, como para el grado y todos los posgrados, son otorgados por la UNSAM y tienen validez nacional.

Inicialmente, el Instituto creó dos posgrados: la Especialización en Reactores Nucleares y su Ciclo de Combustible, y la Especialización en Radioquímica y Aplicaciones Nucleares.

En 2010 se generó la Tecnicatura Universitaria en Aplicaciones Nucleares. Su objetivo general es el de formar técnicos universitarios de excelencia con capacidad para desempeñar con idoneidad tareas técnicas como asistente de profesionales en todas aquellas áreas relacionadas con radiaciones y sus aplicaciones, observando las normas de seguridad para los trabajadores, las instalaciones, el público en general y el medio ambiente.

Un par de años después el Instituto creó un posgrado para otorgar la máxima titulación universitaria en temas de tecnología nuclear, que en muchos casos no tienen cabida en otros doctorados. Así surgió la idea del Doctorado en Tecnología Nuclear, iniciado en 2013. El objetivo de la carrera es formar recursos humanos en el más alto nivel, que puedan realizar actividades de investigación y desarrollo, transferencia de tecnología y docencia en grado y posgrado en diferentes ramas de la tecnología nuclear. También, focalizar la formación estimulando la rigurosidad, la creatividad y autonomía para enriquecer a los grupos de investigación, transferencia y cuerpos docentes con profesionales que desarrollen actividades con espíritu crítico e innovador y a su vez, generar nuevos conocimientos haciendo hincapié en las necesidades locales.

En el desarrollo de las actividades académicas de formación de recursos humanos, el instituto se planteó cubrir un área de vacancia importante como es el de la formación de ingenieros especializados en aplicaciones nucleares. El desarrollo de las actividades nucleares en el país en los últimos años, hace cada vez más urgente la necesidad de ingenieros formados en estas disciplinas, particularmente en la región metropolitana

en la cual se despliegan importantísimas instalaciones que lo requieren. De aquí surgió la carrera de Ingeniería Nuclear con orientación Aplicaciones, que en 2016 se inició su dictado efectivo. Esta carrera pone énfasis en los diferentes campos de aplicación de la tecnología nuclear, además del referido a reactores y centrales nucleares, como las aplicaciones médicas y las industriales no energéticas. La formación tiene como rasgo distintivo una sólida base en las disciplinas básicas indispensables para todo ingeniero y una formación específica amplia y flexible que garantice su inmediata adaptación a una variedad de ámbitos laborales.

El despliegue del Plan Nacional de Medicina Nuclear a lo largo de todo el país ha puesto de manifiesto la necesidad de recursos humanos especializados en diferentes aspectos de las aplicaciones nucleares en las ciencias de la salud. Respondiendo a esta necesidad, el Instituto ha creado el posgrado Especialización en Física de la Radioterapia, aprovechando la experiencia exitosa de cursos afines, tradicionales en la CNEA y en el Instituto. Se generó entonces, en 2015, la Especialización en Física de la Radioterapia.

Su objetivo es brindar los conocimientos necesarios para el desempeño profesional autónomo en centros de terapia radiante, abarcando los aspectos de planificación de tratamientos, calibración y controles de equipos y pacientes, protección radiológica tanto para el paciente como para el público y el personal involucrado. Asimismo, tiene como objetivo capacitar a los profesionales para actuar en condiciones de emergencia radiológica en centros de terapia radiante, brindando los conocimientos necesarios para el cálculo del blindaje correspondiente a los distintos equipos de tratamiento y auxiliares, así como los necesarios para el desarrollo y la utilización de nuevos instrumentos de medición de dosis de radiación.

### **Actividades de apoyo a los proyectos nucleares**

La actividad del Instituto en el dictado de cursos de apoyo a los proyectos nucleares reviste particular importancia y guarda una relación sinérgica con las carreras que se han ido desplegando a lo largo del tiempo. Las áreas de incumbencia de los cursos son: radioisótopos, radiaciones y ciencias de la salud y reactores, centrales nucleares e instalaciones del ciclo de combustible.

### **Otros cursos**

-Curso "ABC de la energía nuclear": este cursillo, de 16 horas, se dicta desde 2008 y está destinado a todo el personal de CNEA (técnico y no-técnico) que se desempeña en las tres sedes de CNEA de Buenos Aires: Sede Central, Centro Atómico Constituyentes y Centro Atómico Ezeiza. Con la energía nuclear como hilo conductor, se transitan distintos temas de física básica, radiaciones, física nuclear y radiobiología.

-Cursos de Tecnología Nuclear en idioma inglés: a solicitud de la empresa INVAP se han preparado y dictado dos cursos intensivos en idioma inglés, de cuatro meses de duración y con material didáctico en ese idioma.

-El Instituto realiza una tarea permanente de capacitación interna para personal del CAE, dictando cursos de interés de los diferentes grupos y laboratorios.

## **Infraestructura**

El Instituto desarrolla sus actividades principalmente en la sede del Centro Atómico Ezeiza y en la sub-sede del Centro Atómico Constituyentes. En el CAE cuenta con un edificio de 700m<sup>2</sup> que consta de oficinas, aulas y un auditorio para 70 personas. El instituto administra otras tres aulas del Centro Atómico: el aula Josefina Rodríguez, el aula de geología y el aula Kittl del sector de Plantas Químicas.

En 2019 se concluyó la construcción de un segundo edificio para el Instituto, vecino al anterior, de 2000m<sup>2</sup> y aloja aulas, laboratorios y oficinas, además, a futuro, de la Biblioteca del Centro Atómico Ezeiza. La obra se realizó en el marco del Plan Nacional de Medicina Nuclear.



Fotografía tomada con un dron del Instituto (cortesía de Ana María Lerner)

## Capítulo VI

### Cinco décadas de energía nuclear en la Argentina

**Jorge I. Sidelnik**  
**Vicepresidente de NASA (Nucleoeléctrica S.A.)**

*Una vez que se adquiere un conocimiento básico, cualquier intento de impedir su realización sería tan inútil como la esperanza de detener la tierra en su movimiento alrededor del sol.*

Enrico Fermi

#### Los primeros años en la profesión

Tenía 14 años cuando mi padre me regaló “La Física, aventura del pensamiento” de Einstein e Infeld. Ahí decidí ser físico. Dos acontecimientos reforzaron esa idea, el alunizaje en 1969 y leer una noticia al terminar mi secundaria: se pondría en operación la primera central nuclear en el país, Atucha. No podía imaginar en ese momento que mi vida iba a estar tan ligada a la misma.

Hice mi secundaria en Rafaela, provincia de Santa Fe. y apenas terminé me trasladé a Buenos Aires para anotarme en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Cursé en años turbulentos, con la dictadura sobre nuestras cabezas, y en ese clima de miedo y terror fue difícil desarrollar una carrera donde el pensamiento y la discusión libre no tenían lugar. Vi llevar presos a compañeros que estaban discutiendo un problema en un pasillo y caerse los vidrios del bar del pabellón I porque a un policía se le escapó un tiro de Itaka. También tuve excelentes profesores con Ferro Fontán y Fausto Grattón, y la posibilidad de escuchar conferencias de Santaló y escuchar cantar a Gentile en Álgebra.

En 1980, me faltaban rendir algunos exámenes y terminar mi tesis de licenciatura y ya casado y con un hijo logré entrar en la Comisión de Energía Atómica, en un grupo recién formado que debía hacer cálculo y análisis para la Central Nuclear Embalse que se estaba construyendo en Córdoba. El grupo estaba formado por tres jóvenes profesionales y el jefe del mismo había estado en una misión de varios años en Canadá trabajando para el proyecto, el Licenciado José Fink. Convivíamos en una gran habitación en el edificio de Reactores Nucleares del Centro Atómico Constituyente. Fink trajo de Canadá programas y modelos para los cálculos de reactor, tanto estáticos como dinámicos, y especialmente transitorios de Xenón, un veneno neutrónico de gran relevancia en reactores de agua pesada.

Mi entrenamiento comenzó con el estudio de la ecuación de transporte y difusión de libros clásicos de reactores y de manuales de diseño del CANDU 6 de Embalse, sin embargo mi primer trabajo distaba mucho de la física universitaria.

Habían llegado al país los combustibles para el primer núcleo. La cantidad de manojos de elementos combustibles en el reactor es de 4560 pero fueron adquiridos más de 5500 iniciales, entre ellos 120 de uranio depleteado al 0,6% de uranio 235, que se utilizan para el arranque inicial. Cada combustible tenía su denominación, ubicación en su cajón, la masa de uranio y el peso total. Como los combustibles estaban bajo salvaguardias había que seguir su derrotero por la planta desde su ingreso, introducción en el reactor (canal y posición) y finalmente, una vez cumplido su ciclo, la ubicación en la piletta de decaimiento y almacenamiento intermedio. Muy poco de física, pero me permitió aprender un lenguaje de computación (Fortran IV) y sellar en mi memoria la masa de uranio de un elemento combustible de cada manajo de 50 cm y 37 barras, aproximadamente 18,800 kg.

Comencé a viajar a Embalse para la época de montaje e interactuar con el grupo de física de la planta a cargo del Lic. Viñez, que tenía la responsabilidad entre otras del montaje de los mecanismos de control de la planta y los detectores de flujo neutrónico in-core y ex-core. Comencé además de dar clases de física nuclear y de reactores para personal de planta no profesional, tarea extremadamente difícil. Enseñar física sin formulas, como diría Feynman con la mano; tratando de respetar la rigurosidad pero con un lenguaje llano. Esas clases terminaron en un apunte, realizado por todo el grupo, que es parte del material de capacitación.

Mi primer trabajo relacionado con la física fue la de analizar mediante un programa de optimización de la gestión de combustible en tres dimensiones y ajustar curvas del calor de decaimiento de combustibles y del rector, necesario para estudios de seguridad del reactor<sup>1</sup>.

A principio de año 1982, a un mes de iniciada la guerra de Malvinas pude rendir mi tesis de seminario basada en el decaimiento beta, que terminó siendo mi primera publicación internacional.

Todo ese año fue de preparación para calcular y ajustar modelos y realizar cálculos de la primera criticidad y puesta en marcha de la planta. Finalmente nos trasladamos al barrio de Embalse con mi familia y se formaron los grupos que teníamos que participar del arranque con profesionales de la planta y de física experimental de Constituyentes, como los Ricabarra. Todo el personal era argentino y con la supervisión de tres físicos enviados por el diseñador AECL. Las guardias cubrían las 24 horas, primero se extraía el gadolinio y luego el boro, dos venenos neutrónicos mientras aumentaban las cuentas de neutrones. En el caso de los reactores de agua pesada y uranio natural no se necesita una fuente de neutrones iniciales, con las fisiones espontaneas del U238 y detectores especiales que miden con mucha sensibilidad se pueden medir las cuentas de neutrones y calcular el acercamiento a la criticidad. Y nadie dormía en los últimos momentos y finalmente el 13 de enero de 1983 a las 15:54 se declaró la primera criticidad.

Como curiosidad, mientras todos festejaban en un salón las barras de seguridad apagaron el reactor repentinamente, no se sabía que pasaba. Después de unas horas de análisis y sin encontrar razón alguna se volvió a poner crítico el reactor. Pasado un tiempo volvió a dispararse el sistema de seguridad #1. Ahí nos fuimos a dormir unas horas para ver por qué sucedía ese evento. Volvimos a la central 3 horas después y finalmente se descubrió el misterio. Fue por casualidad que un operador se dio cuenta que al hablar por un micrófono de la sala de control, que no tenía buena masa eléctrica producía un ruido que generaba las señales de disparo. El nivel del ruido era del mismo orden de las mediciones por el bajo flujo de neutrones. Se anuló el micrófono, se volvió a poner crítico el reactor y comenzaron las pruebas de física. Cinco días frenéticos de mediciones de flujo axiales y radiales, de calibración de los mecanismos de control y de las barras de seguridad, así como de las zonas líquidas que sirven para un control espacial y local del flujo. Luego de las mediciones se calculaba el experimento y lo comparábamos con las mediciones. Ver que tres años de trabajo aprendiendo y modelado el reactor y que se comprobaba con una gran aproximación me llenó de orgullo.

Me pidieron que me quede más tiempo hasta el aumento de potencia que se hacía por etapas, demostrar que todo funcionaba según diseño y pedir autorización al ente regulador para avanzar al escalón siguiente hasta que a mediados de año se llegó al 100% de potencia. Aprendí en ese periodo lo que es el día a día de una planta que tiene que producir.

Finalmente volví a Constituyentes al grupo de reactores y se abrió otra etapa en mi vida profesional.

## **Un tiempo prolongado en Atucha I**

Fink se tuvo que quedar un tiempo prolongado en la central así que al volver me integré a la división de Cálculo y Análisis del departamento de reactores. Durante la gestión del Presidente Alfonsín la CNEA comenzó a perder el peso específico que tuvo anteriormente. Storani era el Secretario de Energía y la nucleoelectricidad quedó relegada aún después del carbón. Por las lluvias sobraba agua y las centrales nucleares dejaron de operar como equipamiento de base, teniendo que realizar ciclos de carga para el cual no estaban preparadas. Atucha I fue diseñada para realizar un ciclo de 100-70-100 % durante el fin de semana y ahora en pocas horas le imponían ciclos del 30%. En uno de esos ciclos se dañaron una cantidad importantes de barras combustibles. Fue mi primera interacción con la gente de planta. Existe un fenómeno denominado interacción pastilla-vaina asociada a la rampa de potencia. Si el salto de potencia local pasa un umbral las pastillas de  $UO_2$  se dañan las vainas. Los cálculos del transitorio demostraron que la recuperación del ciclo fue muy brusca y la causa de las fallas. Aprendí mucho sobre la dinámica de una planta como Atucha con ese evento. El Lic. Rappoport, por ese entonces gerente de Atucha I me solicitó que realizara cálculos para la incorporación de uranio levente enriquecido en el núcleo. La central fue diseñada con combustible de uranio natural, 99.29% de  $U^{238}$  y 0.71% de  $U^{235}$ . En

el reactor MZFR que operó en Alemania y era la referencia de Atucha I pero más pequeño (50 MWe) se cambió el combustible con U235 al 0.85% primero y al 1% después y finalmente dejó de operar. Se tuvo la convicción de seguir el mismo camino, que trae aparejado múltiples ventajas, económicas y operacionales. Se utiliza casi un 45% menos de combustible al año, una menor cantidad de la máquina de carga de los combustibles<sup>2</sup>, se optimiza la piletta de combustible gastado y la economía del ciclo es de 35% menos en el equilibrio.

Se habían adquirido 12 EC de uranio ULE de Alemania pero no se habían realizado todos los estudios de gestión y de seguridad para su implementación. Basado en cálculos que hicieron gente de la central (Serra y Parker) comencé a estudiar el mejor camino para su gestión, cumpliendo los requisitos de seguridad como no superar la potencia de canal máxima y analizar los efectos sobre los canales vecinos. Por diferentes circunstancias la implementación de este programa llevó muchos años.

Mi primer viaje al exterior fue a Italia, conjuntamente con Carla Notari, gran profesional, actualmente en el Instituto Dan Beninson y con premios por sus trabajos. En Bologna la ENEA contaba con una facilidad crítica de agua pesada y nuestra idea era medir un arreglo con ULE para validar los programas de cálculo. En el año 1985 se realizó un referéndum donde la población desaprobaba el uso de la energía nuclear y los profesionales de la ENEA no tenían claro que iba a pasar. Finalmente ese acuerdo no prosperó e Italia desmanteló su plan, aunque compra energía a Francia de origen nuclear.

Era el año 1986 y los salarios estaban muy deprimidos, tomé la decisión de trasladarme a Atucha, me postulé para ser el físico de Atucha II pero entrenarme en Atucha I, por lo cual me trasladé con mi familia a la localidad de Zárate.

Formé parte del grupo de física y gestión de combustible donde estaba Ramón Pérez, un físico rosarino y una excelente persona con la cual convivimos muchos momentos, más de 14 años juntos. Llegué a la Central y sucedió el accidente de Chernobyl, lo que fue un mazazo para los proyectos nucleares en el mundo.

Aprendí en la planta el día a día de una instalación que tiene como principal objetivo la producción de energía eléctrica.

A fines de 1987 después de una parada programada hubo un incidente operativo que significó que 50 Tn de agua pesada del sistema primario se derramaron dentro de la esfera de contención, sin consecuencias radiológicas para la población, el medio ambiente ni los trabajadores. Este evento retrasó el ingreso de la planta a la red de distribución. Como consecuencia de ello se puso en tela de juicio la eficiencia de la aislación térmica de la vasija. Esta aislación disminuye la temperatura sobre la pared de concreto que rodea la vasija dado que la misma no puede superar los 50° C, que de superarse implicaría una aceleración del envejecimiento del concreto.

El jefe de Dpto. de Ingeniería me pidió que realice un experimento para medir la eficiencia de la aislación térmica.

La colocación de termocuplas en diferentes puntos del recinto del reactor fue compleja dado el nivel de tritio en la esfera. Tuvimos que usar trajes aislantes especiales equivalentes a los que usan los astronautas, lo que complejiza todas las operaciones. Se

medía también con un anemómetro el caudal del aire que refrigera los locales dentro de la esfera. Fue la última tarea de esa parada y apenas terminaron las mediciones se realizaron los cálculos y se verificó que la conductividad de la aislación era similar al dato que se encontraba en el manual de operaciones y descripción de sistemas de la planta. Era física aplicada contra reloj. Finalmente la central entró en servicio.

Una tarea que sugerimos los físicos en la parada de 1987 fue la de inspeccionar el interior de canales refrigerantes que contienen los combustibles. No había ninguna indicación por parte del diseñador de realizar un seguimiento de los mismos. La hipótesis era que duraba todos los años de operación. Utilizamos una cámara muy pequeña y de alta resistencia a la radiación que la OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica) había dejado en la Central para inspeccionar combustibles gastados en pileta. En forma rudimentaria se introducía la cámara en el canal que tiene un orificio de 10 cm de diámetro y 12 metros de longitud. Para nuestra sorpresa se encontraron blíster en la pared interior de los dos canales inspeccionados uno de alto flujo y otro un canal periférico. Esto abrió un campo de investigación en materiales que lo tomaron grupos de CNEA y que como veremos más adelante fue el inicio del grupo de robótica en la planta.

La información obtenida en esa campaña sobre el deterioro de los canales no permitía sospechar lo que se encontró un mes más tarde en otra parte del reactor cuando las circunstancias obligaron a realizar una inspección del canal R06.

El incidente de agosto de 1988<sup>3</sup> se presentó de la misma manera que una tempestad en un día sereno. No hubo forma de adelantarse a la falla, ninguno de los estudios previos como los descriptos arriba permitieron prever los acontecimientos y mitigar sus consecuencias, entre ellas la colosal tarea que debió realizarse para que la planta volviera a funcionar. Con el tiempo se tuvo la convicción que la raíz de la falla estaba en otro lado. En la operación de la central siempre existe una tensión entre dos culturas. Una se orienta a la prestación del servicio cumpliendo con las metas anuales de generación de energía. La otra está orientada al aprovechamiento del equipo como una herramienta para alimentar las indagaciones científico - tecnológicas.

A partir del momento en que se conoció el problema en el reactor, como es fácil de imaginar, ya no hubo más dos pensamientos diferentes: todos se focalizaron en actuar para que la CNA-I vuelva a entregar energía a la red. Hacia el final del invierno de 1988 la Central Nuclear Atucha I operaba normalmente contribuyendo al exigido parque de generación eléctrica que enfrentaba una crisis de enormes proporciones. Este problema había sido objeto de un artículo editorial del diario La Nación del 12 de marzo de ese año y el tema resultó recurrente a lo largo de todo el año. Para el mes de agosto ya se habían producido cortes programados de abastecimiento eléctrico a la población y se habían dispuesto medidas de ahorro como la eliminación de espectáculos públicos nocturnos.

Desde el inicio de la operación en 1974 hasta la segunda semana de agosto de 1988 la CNA-I había producido energía, con un factor de carga promedio cercano al 79%. Esto la colocaba en una destacada posición en el ranking internacional de centrales nucleares. Para el 11 de agosto la CNA-I cumplía cuatro meses de funcionamiento

ininterrumpido y operaba al 100% de su potencia. Ese día se difundía un comunicado interno de la presidencia de CNEA a cargo de la Dra. Emma Pérez Ferreira a todo el personal de la CNEA donde se informaba acerca de la probable interrupción del financiamiento a las obras de la Central Nuclear Atucha II (CNA-II).

El “Plan Primavera” que había lanzado el Gobierno Nacional para la contención del gasto público afectaba directamente esas obras. En el comunicado se abría de todos modos una puerta a la esperanza anunciando trabajos conjuntos con el Ministerio de Economía para aprovechar un posible financiamiento ofrecido por la República Federal Alemana. Mientras eso sucedía, a las 10:18 de la mañana, el jefe de turno de la CNA-I observó con preocupación que la central disminuía su potencia. El evento se informó al Jefe de Operaciones de la Central y, a través de él, a la gerencia de la CNA-I a cargo de Juan Carlos Duarte.

Nadie encontraba una razón lógica para ese comportamiento anómalo.

En los minutos que siguieron los sistemas automáticos de la central entraron en funcionamiento tratando de compensar la disminución de potencia térmica.

Para compensar esta disminución el sistema subía las barras de control, que absorben neutrones. Sin embargo la salida de las barras no compensaba la pérdida de neutrones y de acuerdo a las instrucciones operativas, para no perder el control del reactor, se provocó la caída total de las barras de seguridad. Como consecuencia se produjo el cierre rápido de la turbina y se desconectó la central del sistema interconectado nacional. Eran las 10:21 de la mañana del jueves 11 de agosto. Aproximadamente a esa misma hora se inauguraba una importante contribución de la CNEA para el centro de medicina nuclear en el Hospital de Clínicas.

Dentro de este panorama inesperado había razones para mantener la serenidad: la instalación había respondido de acuerdo al diseño cumpliendo con los principios de seguridad: el reactor había quedado en estado sub-crítico, refrigerando el núcleo y manteniendo las barreras de seguridad inalteradas.

La instalación quedó en una condición denominada técnicamente de “parada caliente” isotérmica a 220°C, y a 115 atmósferas de presión. Una parada de la Central es de por sí una situación excepcional. Cuando se produce, todo el personal cumple con las exigencias que impone la coyuntura. Con urgencia se encararon las primeras investigaciones para establecer la causa del evento. A raíz de las conjeturas que se hicieron se verificó si no había caído una barra absorbente de neutrones que el sistema de señalización no hubiera indicado. Se efectuaron también análisis químicos para averiguar si no se había inyectado algún “veneno neutrónico” líquido, como por ejemplo boro. Todos los análisis arrojaron resultados negativos. Un repaso del estado de situación indicó que no se habían detectado daños en la instalación, los sistemas de seguridad se encontraban inalterados, se comprobó que no se había mezclado agua liviana del circuito secundario en el circuito del moderador. Se efectuaron ensayos del funcionamiento de las barras de control verificando la calibración de la reactividad. Todo resultaba normal. Las dos culturas que se mencionaron arriba poseen dos conductas bien diferenciadas. Mientras que los miembros de un grupo se preocupan primordialmente por el buen estado y el correcto funcionamiento de todas

las maquinarias y sistemas de control, los del segundo se imponen el mandato de ofrecer un servicio confiable y sostenido. El tiempo pasaba y las carencias de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional reclamaban a voces que la central se conectase nuevamente al sistema. Se reunió un comité ad-hoc con personal de la planta y externo a ella para evaluar la situación. Teniendo en cuenta que todos los sistemas parecían funcionar correctamente se decidió iniciar una marcha a baja potencia para evaluar otros parámetros de funcionamiento. Ese proceso comenzó en la madrugada del sábado 13 de agosto a las 7:50 limitando el período de arranque a la mitad de lo que era habitual. La criticidad fue alcanzada normalmente siguiendo el procedimiento de rutina. Luego se conectó la central a la red manteniéndola al 30% de potencia. Finalmente se elevó la potencia al 70% y se implementó un programa de validación de parámetros operativos, del flujo de neutrones, de aspectos termohidráulicos y de parámetros físico-químicos del refrigerante y del moderador.

Se pudo observar una disminución del caudal de refrigeración del circuito número 1 del moderador, cercana al 15%. También se pudo observar un aumento de la temperatura del moderador respecto a la temperatura nominal que no se podía compensar.

Las mediciones del flujo de neutrones, efectuados sobre una de las cámaras de ionización, aportaron otro indicio. Los registros de la cámara enfrentada al canal de refrigeración R06 mostraban oscilaciones inapropiadas. Antes de sacar conclusiones apresuradas se controló el circuito de medición para descartar cualquier origen espurio de las mismas, pero las oscilaciones resultaron ser reales.

Recién en la mañana del domingo 14 apareció otro dato consistente con lo que se había encontrado hasta ese momento: se detectó un aumento de actividad en el sistema primario. Ese aumento revelaba una pérdida del material de algún elemento combustible que contaminaba el agua pesada con los productos de fisión. Los productos de fisión contenidos en fragmentos del elemento combustible no habían sido detectados a través de los análisis químicos que se habían realizado. Eso había generado alguna preocupación. Sin embargo, esta duda se aclaró posteriormente con el conocimiento de lo sucedido. Lo que había ocurrido era que los fragmentos contaminantes eran enviados al moderador y éste actuaba como un "tanque de decaimiento". Esto provocaba que la contaminación en el circuito de refrigeración apareciera más tardíamente, y dificultara la detección temprana de la falla. Por otra parte durante la operación regular del reactor no se realizaban muestreos químicos en el moderador simplemente porque en el diseño original no se preveía la posibilidad de una tal contaminación. Esto indicó que se estaba ante un desperfecto no banal y que sus raíces debían remontarse a otras causas. Esos indicios, el día 14 de agosto, indujeron a extraer el elemento combustible de ese canal para ver si de esa manera se alteraba el registro de la cámara de ionización. En ausencia de ese elemento combustible las oscilaciones se amortiguaban notoriamente. Se había dado con el lugar donde se originaban las anormalidades. Hubo otro dato: el sistema de medición de la actividad de productos de fisión que poseía la máquina de recambio de elementos combustibles indicó una falla en el combustible. Este sistema no estaba incluido en el diseño original y fue una de las mejoras que ya habían introducido los técnicos de CNEA.

La presunción de la rotura del elemento combustible extraído del canal R06 impulsó el pedido de una inmediata inspección visual del mismo. También se solicitó una revisión de los combustibles que hubieran finalizado su ciclo de “quemado”. La idea de esas observaciones era averiguar el estado de ese canal mediante un examen indirecto. Esta operación debía realizarse con los elementos ubicados en las piletas de almacenamiento del combustible gastado. Inspeccionar los elementos combustibles usados es una tarea compleja. Una vez que un elemento combustible cumplió con su ciclo de quemado, es extraído del reactor y se lo lleva a una pileta donde se permite que decaigan los elementos radiactivos de vida media más breve. La inspección sólo puede realizarse con el elemento inmerso en agua y utilizando un periscopio sumergido a varios metros de profundidad. En ese tiempo el ánimo general de la sociedad argentina mostraba un enojo perceptible. Un indicador de ello se tuvo ese domingo 14, en la inauguración de la Exposición Rural. En ese acto el público abucheó al Presidente Alfonsín y a miembros de su gabinete cuando éste respondió a un airado discurso del presidente de la Sociedad Rural en el que ponía de manifiesto el descontento del sector con la situación imperante. Era uno de los efectos de una economía cada vez más exigida por un endeudamiento desbocado.

El resultado de las inspecciones solicitadas fue sorprendente y definitorio. El elemento combustible extraído antes del incidente, el día 8, presentaba un daño significativo a unos 80 centímetros de su extremo inferior; pero la avería del que había sido extraído el día 14 era mucho más importante: faltaba toda su parte inferior a partir de esa distancia. Con esta información al equipo que estaba trabajando en el análisis no le quedó duda que el canal debía encontrarse también seriamente dañado. Este era el primer dato que presagiaba que el desperfecto no se debía a alguna falla operativa menor y que la reparación podría resultar la más compleja y laboriosa de las que se habían encarado en la central.

En vista de los daños detectados, el lunes 15 de agosto, a las 3:56 de la madrugada se resolvió retirar a la CNA-I del sistema interconectado nacional y llevarla a “parada fría” dando así comienzo a un minucioso programa de inspecciones para justipreciar los daños en el interior del tanque del moderador.

La reparación comenzaba a lucir como una intervención quirúrgica de máxima complejidad. La “parada fría” es una detención de la central que lleva su temperatura a aproximadamente 50C y a presión atmosférica. En ese momento no se esperaba que se pudiera poner nuevamente en marcha la central hasta dentro de, al menos, algunas semanas. Ese es el dato que recibe y difunde la prensa cuando se informa del percance. En los diarios de ese mismo día el público tendría oportunidad de leer, algunas horas más tarde, toda una andanada de malas noticias sobre la crisis energética. Se vaticinaba que se prolongaría por todo el año 1989. Irónicamente, se destacaba al mismo tiempo el aporte nuclear para paliar esa mala situación. Por otra parte se hacía notar que nada se podía esperar de las obras de la central térmica convencional Luis Piedrabuena ubicada en Bahía Blanca.

En esos momentos la CNEA y sus actividades estaban bajo severo escrutinio por parte de la sociedad. Desde numerosos sectores se comenzaban a levantar críticas al accionar

de la CNEA que algunos suponían que encarnaba una continuación de políticas de la dictadura militar.

La prensa se ocupaba de las acciones del gobierno de los EEUU a favor de la no proliferación nuclear. El 10 de agosto había llegado a la Argentina el Dr. Lewis Dunn, director adjunto de una ONG con sede en los EEUU, que actuaba como contratista del gobierno federal de ese país para el estudio del problema de control de armamentos y de la no proliferación nuclear.

Sumado a estos hechos, el 16 de agosto se dieron a conocer versiones difundidas por la BBC y el periódico británico The Guardian, de Londres en las que se afirmaba que el desarrollo de una política nuclear independiente de la Argentina causaba problemas diplomáticos a Alemania. Apoyaban esa afirmación con el dato falso que Argentina había obtenido clandestinamente una respetable cantidad de plutonio.

Quizá como una expresión de esa incipiente antipatía hacia la CNEA se hicieron públicas también diversas denuncias. La más notable, imprudente e infundada fue que la Argentina estaba en las últimas fases del desarrollo y construcción de un submarino nuclear. Dichas declaraciones despertaron inmediatamente un enorme interés periodístico que se manifestó en los diarios del 15 de agosto.

El conocimiento del alcance y la naturaleza de los daños que se habían producido se lograron a lo largo de numerosas inspecciones. No solamente ayudaron a comprender lo que ocurrió en agosto de 1988 sino que fueron esenciales para planificar las acciones correctivas y asegurarse que el reactor funcionaría con los márgenes de seguridad adecuados.

Las inspecciones se concentraron en tres áreas muy definidas. La primera fue el tanque del moderador donde se apuntó a realizar un mapa de los daños ocasionados y la localización de las piezas que se debían extraer. La segunda procuró proveer un soporte a las tareas de reparación y la tercera fue para confirmar que se podía continuar con la puesta en marcha. A medida que se profundizaba el conocimiento, las inspecciones del fondo del tanque del moderador extendieron su amplitud.

El 23 de agosto de 1988 se realizó la primera inspección por la posición R06. Se conformó un grupo con gente de la planta que contaba con el soporte de personal de Siemens. Con este paso se abrió un mundo que el personal de operaciones no tenía en su horizonte. Se inspeccionaron los canales, los tubos guías de las barras de control y las de corte, los de la instrumentación, etc. La información que se recogía llegaba a las mesas de trabajo y se manipulaban planos que nunca antes se habían estudiado. Ubicarse en las dimensiones de las componentes y en su orientación fue una de las tareas de aprendizaje.

Para las inspecciones se consiguieron dos cámaras de grabación. Una la trajo la delegación de Siemens (marca RICOH) y otra fue obtenida por CNEA. El objetivo de una de ellas era de visión axial (servía para ver el fondo del tanque). La otra era provista de un objetivo de visión radial. Hubo que aprender sobre la marcha la manera de tener una buena iluminación. Para ello se construyeron columnas con una potencia de iluminación de 500W, 1000W y 1500W.

Se consumieron tantos focos y su costo era tan alto que alguien tuvo la idea de regenerar los mismos para reutilizarlos. La vaporización de los filamentos hacía que su material se depositara en el interior del vidrio que se ennegrecía perdiendo eficiencia. Estos inconvenientes hacían que las tareas deberían ser cuidadosamente planificadas. Para inspeccionar un canal o un dispositivo interno había que analizar por qué posición se entraba con la columna de la cámara y por cuál se ingresaba con la iluminación. La columna con la cámara tenía indicaciones para saber la posición axial en que se encontraba.

La tarea de introducir y quitar las columnas era sumamente tediosa. Se utilizaba para ello una grúa. Esta tarea se demoraba porque los movimientos ascendentes y descendentes podían activar emisiones de tritio al recinto del reactor.

El primer informe de inspección constató que se había encontrado parte del canal seccionado de posición R06, inclinado detrás del canal P04. Además, el tubo guía de la sonda W3 se encontraba cortado justo debajo de la tapa del moderador. Una lanza de detectores "in-core" (L02) se encontraba en buen estado. Se consideró que un caño del sistema de detección de elementos combustibles fallados (NX) posiblemente estuviera cortado. Se encontraron diferentes objetos en el fondo del tanque no identificados y se hallaron marcas en el toroide superior. En el toroide inferior se observaron dos orificios. Se hallaron chapas de aislamiento del tanque del moderador y, lo que sería una constante a partir de ese momento, folios de aislamiento de canales dañados.

Los folios aislantes de los canales refrigerantes eran dos láminas de zircaloy, una, la interior, de 0.1 mm de espesor y la exterior de 0.2 mm. Ellas recorrían el canal como una venda dispuesta en forma helicoidal y soldada. Esta forma fue uno de los cambios de diseño de los canales nuevos. Progresivamente, las inspecciones fueron abarcando casi todo el reactor. Se fabricaron dispositivos para tapar los orificios del fondo del tanque del moderador de la posición R06 y las sondas eliminadas. Estos tapones se expandieron hidráulicamente con el fin de sellar el orificio lo más herméticamente posible. En otras posiciones que se habían extraído canales se colocaban tapones transitorios denominados "gravitacionales".

El último informe del año 1988 cubría lo encontrado hasta el 28 de diciembre. Para esa fecha ya se tenía un mapa bastante exacto de todos los daños en el interior del tanque del moderador. La observación más frecuente era el deterioro en los folios de aislación de los canales. Esto traía aparejada una importante tarea de limpieza en el fondo del tanque y en el plenum inferior. La posible reducción del caudal de refrigeración de algún canal por la obstrucción de trozos de los folios sueltos y la posible fusión de un combustible dio lugar a discusiones, cálculos y experimentos durante todo el año 1989. Las otras dos grandes tareas de inspección eran sobre los canales extraídos. Las inspecciones de los canales las realizaba el mismo equipo que inspeccionaba el interior del reactor. Las inspecciones de todos los combustibles que podían arrojar alguna información del mecanismo de falla se llevaron a cabo con el grupo de post irradiación del CAC y con el apoyo del departamento de ingeniería de la CNA-I. Este grupo desarrolló además un instrumento y realizó las mediciones de la elongación de la zona de Zircaloy de los canales más irradiados.

Lo que resultó más repetitivo fue el deterioro del folio de aislamiento de los canales. Salvo en la zona del incidente, tanto los otros internos como las chapas de aislamiento del tanque del moderador se veían en perfecto estado. Resultaron destacables tres hechos de suma importancia. El primero fue que el sistema de parada del reactor por inyección de boro no presentaba ningún daño, el segundo fue lo observado en el canal J26, pandeado y arrugado como la pata de un elefante pero que no había llegado a la rotura, una indicación de su atascamiento y por último que el problema del canal C18 impidiendo la entrada del elemento combustible fue un tema totalmente local. Se había roto un dispositivo porta probetas colocado en la parte inferior del canal que contenía material de la vasija para ser irradiado y así poder estudiar las propiedades mecánicas del mismo frente a la radiación. Los otros porta-muestras colocados en otros canales estaban intactos y se descartaba como hipótesis de los daños en la zona de R06.

Mientras las discusiones con el diseñador se vivían intensamente se complementaban con toda suerte de actividades que en la Central se realizaban sobre el reactor. La ignorancia sobre las causas del incidente hacía que se luchara por acumular más y mejor información. Se mejoraban las inspecciones aun con los limitados recursos disponibles, se preparaban mejor los elementos de inspección, se analizaban registros y documentos de archivo, se inspeccionaban varias generaciones de elementos combustibles que habían pasado por el canal dañado y se estudiaban cuidadosamente todos los acontecimientos sucedidos desde que comenzó la anomalía. Se recurrió a toda la información que pudiera resultar útil acerca de la historia del canal, incluyendo informes de la puesta en marcha en 1973. Se pusieron también en funcionamiento inmediatamente planes de entrenamiento de operadores y de ensayo de herramental especial. Había que tener en cuenta que no solo se debían acordar los trabajos y las relaciones con otros sectores de CNEA y reuniones con Siemens. Además había que conseguir los recursos económicos, asegurar la logística y, sobre todo, palpar el humor social y del personal.

El ánimo de los que trabajaban en la planta era muy fluctuante. En los primeros meses todo parecía negativo dado que a medida que progresaban las inspecciones se encontraban otros problemas que se sumaban a lo ya localizado en R06. Apareció al problema de los folios que estaba extendido, el del canal pandeado J26. Se discutía si las chapas aislantes del tanque del moderador se mantendrían fijas o no en toda la superficie.

Si bien se trabajaba muchas horas en la planta y había un cierto aislamiento del mundo exterior la intranquilidad social llegaba de todos modos a todo el personal. Se cobraba cada 15 días y había que ir corriendo para adquirir bienes de consumos porque desaparecían de las góndolas del mercado. En 1989 se desató una hiperinflación incontenible.

En el ambiente de trabajo que se focalizaba en la reparación con jornadas de 24 horas de trabajo comenzaba a cundir cierta desmoralización. Se multiplicaban preguntas que sólo conducían a aumentar la zozobra. ¿Se podrá reparar la central? ¿Se podrá volver a arrancar alguna vez? ¿Llegarán los recursos necesarios a tiempo? Los rumores en Zárate eran muy negativos. A pesar de todas las adversidades muchos seguían

pensando en cómo reparar y limpiar el reactor aportando ideas y trabajando en el taller de la central en forma continuada.

Otro equipo de trabajo era el Grupo de Apoyo y Asistencia a la Gerencia (GAAG) que se reunía aproximadamente una vez por mes y al que, en promedio, asistían unas treinta personas. Los temas tratados fueron de los más variados y en la segunda mitad del año 1989 se incorporó personal del grupo regulador para llevar adelante los requerimientos necesarios para el re-arranque de la central.

Las tareas a realizar por las dificultades que se presentaban, parecían programadas por el mismo demonio. El único acceso al recipiente de presión era por un orificio por el que se inserta el canal de refrigeración y, ese agujero no tiene más de 12 centímetros de diámetro. Además el recipiente es muy profundo: desde la tapa al fondo hay unos 12 metros. El problema era entonces cómo pescar fragmentos metálicos desde la altura equivalente a un cuarto piso, a través de una abertura no más grande que el plato de una taza de té. Para complicar aún más las cosas, no se tenía una visión directa de la zona de trabajo: sólo se la podía observar por medio de cámaras de televisión y en condiciones ambientales adversas.

La captura de los fragmentos sólo se podía hacer con un herramental especial ya que no sólo se debían asir los fragmentos y extraerlos, sino que, además, se los debía manipular y cortar, para que puedan pasar por el agujero disponible de 12 centímetros de diámetro. En el momento en que se comenzó a pensar en la solución de este problema esas herramientas no existían. Era necesario diseñarlas, desarrollarlas, construirlas y hacerlas funcionar.

Tan pronto se conocieron las primeras imágenes de los daños se inició el planeamiento de la “campana de pesca”. En la reunión del GAAG del 31 de agosto se estableció la necesidad de buscar telemanipuladores especiales en el mercado local e internacional por fuera de la negociación ya encarada con Siemens. La idea era tener alternativas de elección tanto técnicas como económicas. Siemens, por su parte, debía elaborar una propuesta con la ingeniería solicitada. Sin embargo, con las dificultades ya encontradas hasta el momento no se esperaba que esa fuera una solución rápidamente accesible.

Para probar y poner a punto el herramental que se terminaría utilizando y entrenar a los “artesanos pescadores” se construyó un modelo de la zona inferior del tanque del moderador. Este modelo abarcaba el canal de refrigeración en que se habían detectado problemas reproduciendo los canales vecinos, el toroide y el fondo del recipiente, todo en sus reales dimensiones. Se instaló en el edificio de la turbina y contaba con puestos de trabajo a 12 m, a 7m y a 1,3 m para permitir a los operadores entrenarse trabajando en las condiciones similares a las de manipular las herramientas en el reactor.

Durante esta “campana de pesca” se llevó a cabo la definición conceptual, construcción y operación de varias herramientas para manipulación a distancia. Para la ejecución de la ingeniería y su construcción se contrató a empresas locales, en las que participaron principalmente INVAP, TECHINT, CONUAR, NUCLAR y ENACE. De este modo las herramientas para limpieza y reparación del reactor fueron toda una aventura que se extendió por varios meses. Algunos detalles quedaron documentados y gran parte de

la información sobre la experiencia vivida con su uso se encuentra en los archivos de la Central.

Las herramientas de limpieza estaban sometidas a condiciones de trabajo que eran inusuales tanto para el campo convencional como para el nuclear, que establecían requerimientos excepcionales para su diseño y construcción. Así fue que resultó prácticamente imposible usar o adaptar herramental que estuviera disponible en el mercado y forzó a que debieran ser concebidas y fabricadas especialmente para cada operación de limpieza y reparación.

El menú de los condicionantes principales era el siguiente:

- El ingreso de la herramienta en el tanque del moderador y su operación posterior debía realizarse a través de orificios de un diámetro máximo de 120 mm.
- Los materiales de las herramientas estaban sometidas a una intensa radiación gamma. Esto condicionó el uso de mangueras, sellos de cierre, el aislamiento de los cables eléctricos y otros elementos de control. El personal disponía sólo de un tiempo muy limitado en las áreas de trabajo lo que exigía disponer interfaces amigables para el control remoto.
- La estructura de muchas herramientas estaba sujeta a grandes esfuerzos mecánicos y su demanda de energía era muy importante. Esto surgía de la necesidad de realizar cortes o desplazamientos de piezas de considerable peso.
- Los sentidos y las percepciones de los operadores eran de escasa utilidad. Las tareas debían realizarse en medio de un bosque de tubos en el interior del tanque. El tamaño de algunos elementos a manejar, imponía una gran delicadeza operativa, sensibilidad y precisión a la interacción hombre-máquina.

El mes de noviembre de 1988 fue pródigo en novedades para la actividad nuclear. La crisis energética seguía arrasando y se prometía el reingreso de la CNA-I a la red para fines de año. En Perú se inauguraba el reactor de investigaciones que había construido Argentina concretando así la primera exportación nacional significativa de tecnología nuclear. Los presidentes Alfonsín, Sarney y Sanguinetti avanzaban en la política de imponer una máxima transparencia de las actividades nucleares en la región. Se hicieron públicos posibles acuerdos financieros con Alemania para la finalización de la CNA-II.

No por esto la actividad nuclear dejaba de despertar suspicacias en la población que seguía condenando la construcción de un repositorio de residuos nucleares en Gastre<sup>1</sup>, y desconfiaba de las reales posibilidades de los técnicos argentinos en finalizar exitosamente la reparación de la CNA-I. A propósito de esta actividad, un fallido borrador de primera plana del diario Página 12 se refería a la CNA-I con un **“¡Olvídala cariño!”**. Fue reemplazado el 13 de diciembre por otro que ganó la calle en que, aparte de responsabilizar a la CNA-I de los cortes de luz, se mostraba una vieja fotografía del reactor sobre la que se leía un titular que decía **“Lo arreglamos con alambre”**

El plan elaborado por Duarte y su equipo de colaboradores para la CNA-I era extremadamente amplio, iba mucho más allá de la reparación de la falla y establecía una detallada agenda de actividades para el largo plazo. Contemplaba tres fases. Una, inmediata, debía completarse antes del re-arraque. La segunda, complementaria

de ésta, debía ser realizada en la próxima parada programada de la central. La tercera debía encararse progresivamente y junto con los trabajos de modernización y prolongación de la vida útil de la planta.

La tarea que proponía Siemens (diseñador) era mayúscula porque requería extraer la totalidad de los elementos combustibles. Según su estimación se afectaría un volumen de 300 metros cúbicos y una superficie de 10.000 metros cuadrados. Además sería necesario procesar miles de litros de residuos que debían luego ser almacenados bajo las condiciones de seguridad especiales. Debía además tenerse en cuenta que el reactor tiene infinidad de recovecos, que luego de la descontaminación deberían ser cuidadosamente lavados. Para reiniciar la marcha de la central, se debía además asegurar que no quedaran zonas en las que se hubieran estancado las soluciones de descontaminación. A estos inconvenientes se sumaba el hecho que esta operación habría requerido trabajar con material radiactivo elevando la dosis radiológica colectiva.

En el tramo final de la reparación de la CNA-I fue posible reconstruir la secuencia en que se produjo el daño. Toda la evidencia acumulada indica que primero se rompió la conexión del tubo guía de la sonda de medición de la posición W03 con el tanque del moderador. Luego se fracturó el otro punto de conexión y todo el tubo de Zircaloy 4 quedó suelto entre los canales de combustible vecinos. La vibración de un reactor en plena operación es muy intensa y todas las componentes se encuentran sometidas a la misma. Rotos los puntos de fijación por efecto de las vibraciones el tubo se desplazó erráticamente dentro del reactor. Sólo se puede establecer dónde quedó finalmente alojado por la característica del daño que produjo al estar en contacto con otras partes. La primera inspección mostró que el tubo guía de la sonda dejó algunas huellas por las posiciones por las que pasó para finalmente alojarse entre el canal R06 y la muy cercana aislación térmica del tanque del moderador.

Este proceso erosionó tanto el canal R06 como al elemento combustible alojado en su interior. Los esfuerzos puestos en juego sobre este conjunto no permitieron mantener su estabilidad y se fracturó en dos partes. La diferencia de presión del refrigerante respecto a la del interior del tanque del moderador es de aproximadamente unas 7 atmósferas. Eso da lugar a una fuerza sobre la boquilla terminal del canal de unos 450 Kg que expulsa a la boquilla junto con el extremo inferior del canal roto hacia el interior del tanque del moderador.

La abertura dejada permitió la entrada de un importantísimo chorro de agua de refrigeración por una abertura de 90 mm de diámetro a la presión antes mencionada. Ejerciendo una fuerza en el golpe más importante que la que tiene una manguera de bomberos. El chorro impactó sobre los componentes de los alrededores y las chapas de pequeño espesor de la aislación térmica del tanque del moderador provocando un desprendimiento de varios metros cuadrados de la misma.

Durante la operación regular de la Central se registra permanentemente la medición de parámetros funcionales del reactor. Una de las tareas arduas y que consumió tiempo y recursos fue la revisión de esos parámetros operativos con el fin de tratar de ubicar cronológicamente todos los hechos que sucedieron hasta culminar en la rotura del

canal y averiguar si es que esta falla se podía prevenir. De esta tarea se encargó ENACE. Dentro del minucioso análisis surgió que durante la operación regular de la CNA-I se observaron ocasionales cambios de temperatura en la salida del agua del moderador. Hubo un leve aumento en el año 1982, otro más importante entre 1983 y 1986 y otro, de igual magnitud al de ese período, en 1987. Junto a este cambio, se observó una leve disminución del grado de quemado de los elementos combustibles. Esos cambios de temperatura habían sido investigados y consultados con el diseñador, buscando zonas de mezclado del refrigerante con el moderador o suponiendo la existencia de fallas de otras partes del reactor. De todo el estudio realizado surgió que esos eventos ni resultaron ser fallas, ni fueron los causantes del aumento de temperatura del agua del moderador del 11 de agosto.

A pesar de lo infructuoso de este análisis en particular, la tarea de registrar todos los parámetros operativos del reactor, y tener la posibilidad de reconstruir la historia operativa de un sistema, es una labor que rinde frutos y configura la piedra basal de una cultura basada en el aseguramiento de calidad, concepto éste que es esencial a cada vez más actividades industriales que involucran alta tecnología.

Entender las causas o principios que llevaron al incidente de agosto de 1988, es decir un evento no tenido en cuenta, un “cisne negro” como diría Nassim Taleb, pone en marcha mecanismos para prevenir eventos similares o mitigar las consecuencias de accidentes no previstos disminuyendo sus consecuencias.

El análisis sistémico aportó luz sobre el comportamiento de materiales de los internos del reactor y permitió desarrollar herramientas para la reparación y la modificación del diseño de reactor en construcción. Este cúmulo de conocimiento alentó, 15 años después, la finalización de la CNA-II por un grupo de especialistas locales.

El sensor del nivel de agua del moderador, alojado en el interior del tubo guía de la posición W03, falló en el año 1983. Como éste fuera cambiado en el año 1987 y había quedado funcionando normalmente, lamentablemente no se profundizaron las razones de la falla. En ese momento se pensó en la falla eléctrica del sensor no que se podía haber roto el tubo guía que alojaba el sensor. Las fallas de los sensores ocurrían con alguna frecuencia. Tampoco es posible afirmar que el tubo estuvo casi cinco años “bailando” entre los canales.

Hubo también alguna indicación de oscilaciones en los detectores de flujo externos. Se las observaba ya desde el año 1985. Estas oscilaciones fueron siempre motivo de discusión entre los grupos de instrumentación y control y de los especialistas en neutrónica. Mientras los primeros aseguraban que los detectores funcionaban correctamente los segundos insistían que el núcleo tenía un comportamiento que no era pulsante. Pero tampoco se puede pensar que las oscilaciones observadas desde 1985 correspondían al mismo problema que las producidas cuando se rompió el canal. El relato preciso de registros provenientes del interior del reactor no parece hoy ya más importante porque la raíz del percance de agosto estuvo en el diseño original que requirió ser modificado.

Aunque parezca irónico la falla de diseño del reactor de la CNA-I puede pensarse que se debe a la reconocida perfección alemana. Como mencionamos anteriormente

la extracción de los canales en algunos casos requirió ejercer una fuerza de algunas toneladas. Esta es una indicación inequívoca que no podían desplazarse libremente como debía ser necesario para absorber la diferencia de dilatación entre las partes de acero y las de circonio. El por qué estaban trabadas las boquillas terminales tuvo una inmediata explicación mecánica. De los planos constructivos surge que el piso del tanque en cada alojamiento de las boquillas terminales tenía forma de embudo. Así toda partícula suelta dentro del tanque del moderador cuando decantara hacia ese fondo, se iría escurriendo por el embudo para alojarse en el punto de unión con la boquilla.

En marzo el presidente Alfonsín resolvió trasladarse en el helicóptero presidencial para visitar personalmente la planta. Lo hizo acompañado por el Dr. Dan Beninson, a la sazón miembro del flamante directorio de la CNEA. El Ing. Duarte supo telefónicamente de esta visita estando en Buenos Aires y partió presuroso a la central para encontrarse con la visita oficial. Recorrió en menos de una hora los 100 kilómetros que lo separaban del predio de la CNA-I. El encuentro con los visitantes pudo tener lugar sin otros tropiezos. Se abundó en explicaciones y planes de futuros trabajos y se transmitieron las últimas novedades de la reparación. La comitiva presidencial quedó satisfecha con las explicaciones. “Estos la van a terminar haciendo funcionar” fue lo que terminó diciendo, pensativo el Presidente al resto de su comitiva.

A todo esto, la economía nacional estaba colapsando. En los meses de abril a julio de 1989 y en los que mediaron entre diciembre de 1989 y marzo de 1990 se dieron dos picos de hiperinflación con devaluaciones diarias de la moneda. Esos picos devoraron salarios, generaron revueltas y saqueos y llevó al adelantamiento del traspaso del poder luego de las elecciones presidenciales de 1989.

En el mes de julio asumió la presidencia de la nación el Dr. Menem. Ante el cambio en las autoridades nacionales, la Dra. Emma Pérez Ferreira y todo el directorio presentaron sus renuncias para dejar a la nueva administración con las manos libres. La presidencia de la CNEA fue ocupada por el Dr. Manuel Mondino y se reemplazó todo el directorio de la CNEA. Ninguno de estos cambios afectó ni las autoridades ni los trabajos vinculados a la CNA-I. A esta altura ya se tenía una idea precisa de los daños que se habían producido en la central y los trabajos para repararlos estaban en franco desarrollo. El plan de trabajo era en esos momentos terminar con la limpieza de los trozos que se habían dispersado con la rotura del elemento combustible y la eliminación de sondas para evitar nuevas roturas. Estaba en camino también el rediseño de las boquillas de los canales de refrigeración y se estaban delineando tareas para completar la reparación con acciones en el corto, mediano y largo plazo.

El arranque de la planta después de una parada tan prolongada tuvo variadas aristas en las que se entrelazan lo técnico, lo político, el esfuerzo y cansancio de la gente, los temores y las certezas que rodeaban el ambiente.

El re-arranque de la central distaba de ser un paso más en todo el programa de reparaciones. Existían dudas y preocupaciones que no eran banales y que deberían ser respondidas en los últimos meses de 1989. Como se solía decir vislumbraban en esos tiempos una luz al final del túnel pero la incertidumbre era tal que muchos se

preguntaban si las luces no correspondían en realidad a un expreso que los iba a atropellar.

Al igual que para cualquier parada prolongada, había que probar todos los sistemas asociados a la seguridad de la central, tanto de componentes como de detectores y señales. Había que garantizar que la limpieza realizada no alterase el caudal de refrigeración de los elementos combustibles, especialmente en un escenario de accidentes. También se debía verificar que funcionaran los sistemas de corte del reactor, de refrigeración a corto y largo plazo de acuerdo con los criterios con que fueron diseñados. Aun cuando en la central no se sentían las presiones provenientes del exterior, se percibían cambios: al final del año 1989 ya era perceptible el quite de colaboración de Siemens. De hecho, la empresa retiró toda su gente el día en que se puso a crítico el reactor.

La licencia de operación emitida por el ente regulador seguía vigente pero, como era de esperar, había que cumplir una serie de exigencias debidas específicamente al incidente de agosto del '88. En septiembre de 1989 se preparó el programa de pruebas y de puesta en marcha que comprendía seis etapas.

La preocupación central que se tenía para encarar el re-arranque consistía en el efecto que pudieran producir los fragmentos que no se habían podido remover del interior del recipiente de presión. La idea de la secuencia programada para el re-arranque era verificar mediante inspecciones que la cantidad y la ubicación de las piezas sueltas que habían quedado en el recipiente de presión no se hubieran modificado. Se buscaba de ese modo prevenir en cada etapa, posibles daños o una merma en la capacidad de trabajo de los sistemas. Preocupaban principalmente aquellos ligados a la seguridad. Teniendo en cuenta la cantidad de fragmentos producidos y el hecho de no poder garantizar una limpieza absoluta, el escenario que más preocupaba era que uno o varios canales se taparan y se provocara una disminución en la refrigeración de un elemento combustible fundiéndolo. Si bien las consecuencias radiológicas al público en esa eventualidad eran nulas, un incidente de estas características habría hecho virtualmente imposible volver a arrancar la central tornando inútil todo el esfuerzo realizado en los meses pasados. Tal era la preocupación que se realizaron variados estudios teóricos y de laboratorio para caracterizar ese hipotético accidente.

De esos estudios surgió que para que se funda un elemento combustible se debía tapar aproximadamente el 70% de un canal y disminuir un 90% la refrigeración del mismo. Se analizaron muchos escenarios que podían llevar a esa situación extrema y todos eran interrogantes difíciles de responder: ¿era posible que el foil de aislamiento de los canales se desgranara descontroladamente?, ¿cuál era el máximo pedazo de foil que podía obtener el canal?, ¿el empuje de las bombas principales sería capaz de levantar piezas remanentes en el plenum inferior?, ¿qué probabilidad tenía este escenario? Si llegaba a suceder ¿se podía detectar a tiempo para tomar alguna medida? Todo el equipo tenía la sensación que se estaba jugando a un destino incierto.

Todos los análisis realizados indicaban que una vez obturado el canal, el tiempo requerido para aumentar peligrosamente las temperaturas de la vaina y el uranio del combustible era escaso. Por esta razón se implementaron variados sistemas de

alerta temprana de fallas. Se propuso efectuar un seguimiento más estricto de la concentración de radiación gamma en el sistema primario, la medición precisa del esfuerzo para extraer o introducir un elemento combustible en el canal, una medición del flujo neutrónico, etc. Estos sistemas se basan en detectar variaciones respecto a curvas patrones pero, para agregar dificultad al problema, esas curvas no existían. Había que construirlas con la operación de la central. Otra dificultad residía en que luego de remover una cantidad importante de material en el reactor no se sabía cuál era el fondo de radiación requerido para observar apartamientos. Para conocerlo había que esperar que el reactor llegue a plena potencia de manera estable.

Las partículas que circulaban podían traer también aparejado dos posibles incidentes, que si bien no tenían consecuencias para la población y el medio ambiente, planteaban una situación anormal que podía dificultar la operación de la central. Una era la rotura de tubos de los generadores de vapor y la otra, una masiva rotura de las vainas de combustible. Si bien nunca se hubieran superado los límites contemplados en las regulaciones, un incremento considerable en las emisiones iba a ser un blanco de severas críticas a toda la reparación encarada.

Otro tema a vigilar fue el caudal del moderador necesario para afrontar accidentes. Éste no podía disminuir de modo apreciable. Tanto por su tamaño, como por su ubicación en el edificio y la exposición radiológica de los trabajadores, era imposible pensar en un cambio de los intercambiadores del moderador.

El sistema del moderador aporta por la recuperación calórica en sus intercambiadores aproximadamente el 5% de la potencia térmica del reactor en operación normal; pero cumple una función esencial de seguridad en la refrigeración del núcleo en escenarios accidentales, por lo cual su funcionamiento como sistema, y los componentes en particular debía ser garantizado de acuerdo al diseño. Las válvulas (conocidas como FIAT, por ser la empresa proveedora) de gran tamaño y que deben conmutar en formar automática ante situaciones accidentales y los intercambiadores de calor (otro equipamiento de gran tamaño) son elementos vitales del sistema de evacuación de calor residual. Era esencial garantizar que las válvulas, luego del incidente, seguían cumpliendo con su objetivo de diseño en todos los escenarios accidentales postulados en el Informe de Seguridad de la planta.

Finalmente, el reactor se puso crítico y se fue elevando la potencia en escalones pasando sucesivamente por el 10, 30, 50, 90 y 100% de potencia. Este proceso demandaría unos 21 días.

Uno de los temas que preocupaba a los físicos de la central era que, debido a la cantidad de canales vacíos y al tiempo transcurrido el flujo de neutrones fuera muy bajo y no hubiera prácticamente cuentas en los detectores de flujo externo. En la central de Embalse se había arrancado con una instrumentación de alta sensibilidad. Pero para utilizar instrumental similar en la CNA-I se debían desarrollar dispositivos especiales. Las demandas de energía hacían que no se dispusiera del tiempo para ese desarrollo. Por suerte para la fecha de arranque las mediciones en los detectores superaban el fondo.

Se acercaba el verano y era importante que la planta estuviera conectada a la red. Luego que el trabajo de reparación había concluido en noviembre de 1989, la Dirección de Centrales Nucleares solicitó la autorización para realizar el ensayo de puesta en marcha dado que todos los puntos establecidos antes de la suspensión estaban cumplidos.

La autorización se extendió por 3 meses a partir de la puesta a crítico para operar a una potencia no superior al 50%, bajo las condiciones previamente establecidas con la Autoridad Regulatoria y supervisadas por un comité ad-hoc. El incremento de potencia del 30% al 50% requería el consentimiento adicional de la Autoridad Regulatoria.

Los 20 puntos establecidos por el ente Regulador contenían gran cantidad de condicionantes referidos a situaciones operativas, a la detección de anomalías funcionales, a lecturas que reflejaran cambios así como a la situación de material que todavía no hubiera sido eliminado del reactor. Fue también mandatorio un seguimiento por medio de inspección visual en toda ocasión que se realizara una parada a temperatura dentro del recinto del reactor (aproximadamente 50 °C). El caudal mínimo de refrigeración de los intercambiadores de calor del moderador fue fijado como límite operacional, también se incluyó la inspección de la totalidad de los elementos combustibles salientes del reactor considerando que esto era un elemento útil para la detección de daño en los canales. Los generadores eléctricos del sistema de refrigeración de emergencia debían estar todos operativos y debía implementarse un programa de entrenamiento especial de los operadores. Se establecían además otras muchas condiciones especiales como para realizar el ensayo de operación. Este documento lleva la firma del Gerente de Licenciamiento, Dr. R. Touzet, y del Presidente de la Autoridad Regulatoria, Dr. Dan Beninson, en la fecha del 5 de enero de 1990.

El 7 de enero de 1990 se introdujo en el reactor el último combustible para lograr una configuración mínima prevista de canales vacíos. El lunes 8 el reactor se puso crítico. Se había propuesto medir a muy baja potencia la efectividad de las barras de control y de corte y compararla con los cálculos para demostrar que el sistema de parada del reactor funcionaba eficientemente. Todo salió según lo estimado. La reparación había culminado exitosamente. A partir de ese momento, la CNA-I volvió a formar parte de la red interconectada nacional.

Toda instalación nuclear necesita para operar la autorización de un ente especial. La puesta en marcha después de las reparaciones efectuadas en 1989 debía contar con la autorización de la organización nacional reguladora de la seguridad nuclear (CALIN). Dicha autorización se basaba fundamentalmente en que se hubiera verificado el cumplimiento de las condiciones indicadas previamente para permitir el re-arranque de la Planta.

Si bien esa acción era de orden nacional, CNEA quiso poner también en manos de un organismo internacional el análisis del incidente y las tareas reparadoras ejecutadas en la Central, con relación a su futura operación. La OIEA, creada por la Organización de las Naciones Unidas, es quien analiza y recomienda sobre todos los aspectos de la seguridad nuclear. De esta forma se centralizan todos los aspectos de la seguridad

nuclear en toda la comunidad internacional. Realiza además recomendaciones con el objeto de minimizar el riesgo en la operación de las instalaciones.

La CNEA solicitó a la OIEA que revisara todo lo sucedido, así como las acciones correctivas llevadas a cabo y las programadas para después del re-arranque, asistiéndola en su esfuerzo para operar la CNA-I en forma segura. Un análisis exhaustivo de este tipo realizado por especialistas extranjeros, y coordinado por la mayor autoridad en seguridad nuclear en el mundo constituía la validación más exigente de las tareas realizadas y era, al mismo tiempo, el asesoramiento más confiable que se podía concebir. La CNEA solicitó esta misión para tener una visión independiente de lo acontecido, con el mismo estándar de seguridad internacional que aplica la Autoridad Licenciante. La Misión se realizó entre los días 25 de marzo y 5 de abril de 1990, contando con especialistas de distintas áreas y países provenientes de Alemania, Canadá, Estados Unidos y Francia. La coordinación del equipo la realizaba el Dr. Lederman, un especialista de la OIEA.

La gestión que dio origen a esta misión fue la del Dr. Dan Beninson, que en su condición de autoridad internacionalmente reconocida halló una buena respuesta en la OIEA. Evidentemente la elección de los especialistas estuvo preparada para cubrir tanto los aspectos ingenieriles como los operativos. El mejor ejemplo de esto es la participación del especialista de Alemania que había conducido la operación del reactor MZFR, el prototipo de la central Atucha I.

El trabajo de la Misión en Argentina dio lugar a una maratónica sesión de reuniones de consulta, explicaciones e intercambio entre los especialistas extranjeros y los de la CNEA. La contraparte argentina, que actualmente es la Autoridad Regulatoria Nuclear, lideraba la relación con la Misión y tenía a su disposición toda la asistencia técnica de profesionales de otras áreas de CNEA.

La delegación de OIEA había planificado trabajar estudiando los detalles del evento de agosto de 1988 con los antecedentes del mismo, las inspecciones realizadas para describir su alcance, las acciones posteriores de reparación con la limpieza asociada, el reemplazo de las partes dañadas, la autorización para la nueva puesta en marcha, las condiciones de seguridad y las acciones programadas para el mediano y el largo plazo. Tan pronto como empezaron las reuniones el Ing. Pablo Zanni, Jefe del Departamento de Ingeniería de la Central, entregó a la delegación un par de cajas conteniendo el material escrito en el que se habían volcado los informes de estudios, cálculos, análisis parciales y generales del evento y de todo el proceso de la reparación. Las cajas contenían 240 informes que el Ing. Zanni había clasificado y archivado cuidadosamente. Esta enorme cantidad de información dio lugar a un comentario especial en el informe final de la Delegación que en un apéndice transcribieron sus títulos y autores.

La delegación de OIEA tenía una alta responsabilidad al analizar desde el punto de vista nuclear lo sucedido y lo realizado por CNEA para el re-arranque del reactor. Tomar conocimiento de todo lo ocurrido, las medidas tomadas enfrentando el incidente de pérdida de reactividad, el origen del mismo, las reparaciones, el cumplimiento de las condiciones impuesta por la autoridad licenciante y la nueva puesta en marcha era una gran tarea a realizar en un breve tiempo.

En los múltiples comentarios del informe final –cada punto cerraba con uno de éstos– muestran como el tiempo que disponían para estudiarlos hacía necesaria una explicación en diálogo con los expertos que complementara la información recibida en los documentos entregados. Esta necesidad es reflejada en varias partes del informe siendo una de ellas la que se puede ver en el punto 6 sobre los requerimientos regulatorios para el arranque.

Dice que la falta de un documento integrado similar a un informe de análisis de seguridad hacía más difícil la revisión. Reuniones diarias con grupos de especialistas de CNEA, consultando y analizando las respuestas, seleccionando y analizando el material de los informes entregados demandó una intensa actividad tanto a los extranjeros como a los argentinos.

Si bien el informe de la OIEA no se esperaba que fuera vinculante, su contenido iba a ser leído en el ámbito nuclear internacional con especial interés. Se trataba de un incidente no contemplado por el diseño y cuya reparación había sido doméstica. Además, lo que decía la prensa en el ámbito nacional e internacional aseguraba una amplia repercusión que excedía lo técnico. La prensa había recibido el tema con especial interés y con un alto grado de desinformación magnificado por la cercanía del accidente dantesco de la central de Chernobyl que había motivado un dramático debate. No se puede dejar de remarcar la pública, explícita posición internacional adoptada por Siemens oponiéndose al re-arranque de la Planta.

Las reuniones requirieron la participación de distintos especialistas que, en algunos casos, mantuvieron la presencia en forma permanente y, en otros, de acuerdo con su especialidad y el tema tratado. Un total de 24 especialistas de CNEA fueron convocados para explicar o responder a las consultas de los expertos de OIEA. Durante 9 días se mantuvo la actividad en la mañana y en la tarde. En dos de ellos se realizó una visita a la CNA-I y al Centro Atómico Ezeiza.

El informe final describe los antecedentes de cada sector, de su planificación y luego contiene un comentario propio. Comienza describiendo todos los elementos que podrían haber tenido relación o ser precursores del evento del 11 de agosto. Esto es comentado por el grupo OIEA diciendo que el personal nacional reconocía que si se hubiera insistido en buscar las causas de los registros anómalos no se hubiera dado lugar al importante daño producido.

Si bien eso es correcto, sólo puede ser realista, objetivamente, la falta de una inspección visual del sensor de medición de nivel fallado en 1987, fecha en que fue remplazado por uno nuevo. También podría haber anticipado la falla la inspección del elemento combustible saliente del canal R06 tres días antes del 11 de agosto, pero ello no estaba en los protocolos de operación. La simple visión del elemento combustible habría hecho detener la central de inmediato. Hay que recordar aquí que esa no fue una omisión de una inspección de rutina: las directivas operacionales no señalaban bajo ninguna circunstancia la existencia de algún elemento que hiciera necesaria la inspección de elementos combustibles salientes del reactor. Llevar a cabo esa inspección hubiera sido para el operador la respuesta a una inquietud de los grupos de desarrollo. A tal punto ése era el caso que la inspección de los canales, fue una acción solicitada

dos años antes del incidente justificada por una razón que nada tenía que ver con la seguridad de la Central.

Este punto termina comentando la importancia de mantener un alto grado de alerta y sensibilidad sobre cualquier cambio inesperado observado en la reactividad o en otros parámetros de la planta. También recalca la importancia de mantener activo sobre esos puntos el régimen de entrenamiento del personal, de la dirección y de los procedimientos operativos.

El análisis realizado por los expertos de OIEA respecto al evento ocurrido el 11 de agosto, las verificaciones de seguridad realizadas luego de la pérdida de potencia de ese día y el retorno a la condición operativa el día 13, merecieron un comentario crítico por parte de los mismos. El comentario se centró en que no debía haberse llevado el reactor el día 13 a una condición operativa sin haber determinado previamente la causa que dio lugar a la pérdida.

Una observación minuciosa de la temperatura del moderador durante el evento de pérdida de reactividad del 11 de agosto, lleva a determinar que su aumento en 5°C da lugar a una reducción rápida de la potencia de 100% a 50%. La respuesta de los especialistas de CNEA fue que observar tal cambio cuando simultáneamente sale la turbina de operación, enmascara los efectos. Se puede así explicar que esta circunstancia no permitió focalizar la atención en la pérdida de potencia por el mezclado del refrigerante y el moderador.

El informe recorre luego minuciosamente todos los aspectos técnicos de las inspecciones, las reparaciones, la limpieza, el diseño y fabricación de dispositivos y herramientas, el entrenamiento en el simulador para adquirir la habilidad de operar en forma remota, la organización y el trabajo de los estudios complementarios en otras disciplinas para aclarar el incidente en toda su extensión.

Dado que el plan de reparación contemplaba acciones inmediatas y otras de mediano y largo plazo la misión incluyó en su análisis estas últimas como parte del conjunto de acciones que tendían a reestablecer en forma segura la operatividad de la Planta.

El análisis especializado estuvo orientado hacia las condiciones establecidas por la autoridad regulatoria para re-arrancar la Central. En el momento de la visita de la Misión, la Central se encontraba operando bajo una licencia provisoria válida por 3 meses, basada en la otorgada en abril de 1988 y extendida por una resolución de la presidencia de CNEA el 20 de julio de ese año que luego fue suspendida el 20 de octubre de 1988 por el incidente del 11 de agosto.

La gran mayoría de los comentarios de la Misión fueron compartidos y discutidos en las reuniones de expertos, reforzando el pensamiento local acerca de cómo actuar durante este periodo de prueba y de las acciones futuras. El resumen de sus conclusiones fue volcado en el apartado de recomendaciones y representó una objetiva y sincera opinión sobre lo realizado por CNEA. El informe concluye diciendo:

*“Hubo una serie de acciones y proyectos que el personal de Atucha I había tomado o estaban tomando que impresionó positivamente a la misión, y tomar conocimiento de éstos podría beneficiar a la comunidad nuclear internacional. La más importante fue el éxito de la planificación y eficiente organización y ejecución asociado a la inspección y la recuperación de*

*un muy difícil evento para el cual no había experiencia internacional y que se ha producido en un reactor único.”*

La misión reconoció la respuesta oportuna y la alta calidad del trabajo llevado a cabo por los especialistas argentinos para identificar las causas del accidente, la organización y los aspectos técnicos de las actividades en la limpieza y la recuperación de Atucha I. Esos esfuerzos son particularmente notables teniendo en cuenta las características específicas del diseño de la planta y las condiciones para el trabajo de reparación.

La CNA-I ha funcionado regularmente desde su re-arranque en 1990 hasta la fecha sin ningún inconveniente.

Posteriormente participé de otros proyectos importantes. En 1994 la CNEA se partió en tres grandes sectores, se creó la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), la CNEA como impulsora de la I&D y la empresa Nucleoeléctrica Argentina s.a. (NA-SA) con dos centrales operando y Atucha II en construcción con la idea de privatizar las misma, en un modelo semejante al mercado inglés. Esto último fracasó y NA-SA sigue siendo una empresa que opera en el mercado eléctrico pero las acciones son 100% del Estado Nacional.

El Regulador le exigió a la operadora que realice un Análisis Probabilístico de Seguridad (APS), donde se debe analizar la frecuencia de daño al núcleo, postulando eventos posibles y realizando árboles de falla de componentes y sistemas, incorporando además el factor humano en el estudio. Un equipo de trabajo del orden de 15 personas por más de dos años hizo los primeros modelos. De los mismos se resaltan las potenciales debilidades de la planta y sirve como herramienta en la toma de decisiones para invertir en la seguridad nuclear.

Conjuntamente con ello se llevó a cabo la modificación de los elementos combustibles del núcleo del reactor al pasar el combustible de uranio natural (0,7% de  $U^{235}$  y 99,3%  $U^{238}$  a Uranio levemente enriquecido 0,85%  $U^{235}$ ). En el equilibrio esta modificación trajo mejoras sustanciales ya que hubo un ahorro de casi 40% menos de combustible y por lo tanto de combustible gastado, utilización de piletas de almacenamiento y un 35% menos en el costo del combustible.

## **En las oficinas centrales, aprendiendo a gestionar**

En el año 2000 ocupé la jefatura de departamento de combustible de la sede de NA-SA y posteriormente la creación de la Gerencia de Proyectos donde se realizaron los estudios de factibilidad para la construcción y operación de dos centrales tipo CANDU y se desarrollaron los primeros pasos para el desarrollo del proyecto de extensión de vida de Embalse.

Las centrales CANDU tenían una vida proyectada de 24 años de plena potencia y se analizó que, cambiando algunas componentes, gestionando la vida de otros y proponiendo modificaciones con el fin de “aggiornar” la planta se puede licenciar para otro periodo de operación por 24 años más y aumentar la potencia eléctrica. Proyecto que se llevó a cabo entre los años 2016, 2017 y 2018, pero que tuvo muchos años de preparación previa durante el periodo 2005-2015. Inclusive se consiguió por

primera vez créditos de un banco multilateral como la CAF (Banco de Desarrollo de América Latina).

En diciembre de 2009 fui nombrado Gerente General de la empresa y no solo con responsabilidad en la operación de las plantas sino en la finalización de Atucha II.

## **Finalizar Atucha II: concretando la Utopía**

Para la sociedad, para los inversores, el momento de mayor alegría es cuando una planta de generación eléctrica se conecta con la red y comienza su operación comercial; para los físicos hay un momento previo, la primera puesta a crítico del reactor. Esto sucedió el 3 de junio de 2014. Pero previamente se tuvieron que transitar más de 30 años de frustraciones, marchas y reveses.

En 1994 prácticamente el proyecto Atucha II quedó congelado y si bien todos los gobiernos posteriores declamaron su finalización no fue hasta el 2005 cuando se visualizó su concreción, el gobierno de Néstor Kirchner ordenó hacer una evaluación de la factibilidad de terminación de la obra. Luego de presentar los resultados del análisis y presentando los mismos se decidió que la inversión era justificable y se trazó un horizonte para todo el plan nuclear argentino.

En el sitio de Atucha II quedó un núcleo de profesionales y técnicos que habían estado en el proyecto desde el principio, la dedicación era completa. Prácticamente todos los componentes estaban en la obra y su mantenimiento era excelente (solo un gran componente se tuvo que reacondicionar). Se gastaba del orden de 10 millones de dólares anuales en este mantenimiento.

Las condiciones de contorno no eran las óptimas. Siemens, el diseñador se había retirado de la actividad nuclear y conformó un consorcio con una compañía francesa. La nueva compañía denominada AREVA no quería involucrarse en el reactor de agua pesada y uranio natural. Solo quería vender servicios.

Podemos expresar que el relanzamiento tuvo tres etapas. La primera fue la negociación con las empresas extranjeras nucleares, la organización del proyecto y la creación de instrumentos legales para llevar adelante una obra por parte de una compañía estatal como es NA-SA.

La segunda parte fue la del montaje de componentes y sistemas. Si bien el avance de obra se estimaba alto la mayoría era obra civil; pero el montaje era casi nulo. Salvo un intento de relanzar la obra en 1995 que posicionó la vasija en el recinto del reactor y los generadores de vapor no había montaje de cañerías, sistemas eléctricos, y electrónicos ni del turbogrupo.

La tercera es la puesta en marcha de componentes y sistemas hasta lograr la primera criticidad, la conexión a la red y la operación estable al 100% de potencia para conseguir la licencia de operación en sistema eléctrico, en la Autoridad Regulatoria Nuclear e inclusive en la autorización ambiental por parte de la provincia de Buenos Aires.

Luego de muchas negociaciones NA-SA tomó el rol de arquitecto-ingeniero de la obra, Areva y Siemens fueron contratistas principales enviando especialistas, montadores y fundamentalmente dando toda la información de la base de diseño. Miles de documentos

técnicos se trasladaron de Alemania a Buenos Aires. Se conformó un grupo de especialistas para evaluar las mejoras a realizar desde el punto de vista de la seguridad.

En las primeras décadas los reactores nucleares se diseñaba con el criterio de máximo accidente creíble, se suponía que si estaba cubierto para ese evento se podía controlar cualquier accidente. Esto fue cambiando con los accidentes e incidentes que sucedieron en distintas etapas. La condición de una rotura total e instantánea de la cañería principal fue desechada en los años 80 y los sistemas de seguridad estaban diseñados para roturas de cañerías del sistema principal de transporte de calor en 0.1 del área máxima. Esto fue cuestionado por el grupo de especialistas y hubo que hacer mejoras considerables del sistema de corte del reactor. Se tuvo que desarrollar un mock-up (Maqueta de Prueba) ambiente en escala 1:1 para demostrar las mejoras. Estos cambios en las condiciones fueron superados por los especialistas en el país, pero impactaron obviamente en los tiempos del proyecto.

Otro tema importante es que los combustibles del primer núcleo se fabricaron en el país. Se tuvo que traer maquinaria que estaba en Alemania desde más de 20 años. Hubo que traerlos, montarlos y ponerlos en marcha en la fábrica de elementos combustibles (CONUAR). La reevaluación del diseño y la fabricación de los primeros 500 combustibles llevo más años de tareas.

Otro suministro muy importante era la fabricación de agua pesada, ya que se necesita más de 600 tn. Para eso se realizó un contrato con la Planta industrial de agua pesada (PIAP) que la CNEA tiene en Neuquén. El lugar fue elegido porque tiene la mayor concentración de deuterio en agua (11 ppm aproximadamente). Es una instalación de alto consumo energético tanto eléctrico como de gas natural.

Tanto el agua pesada como los combustibles, en los cuales estuve involucrado por ser el responsable desde el lado de NA-SA de los contratos estuvieron a tiempo para el inicio de la puesta en marcha. Aprendimos no solo del diseño teórico, los problemas en la fabricación, los temas de logística para su traslado y almacenamiento dado que son considerados elementos muy críticos.

Con el fin de consolidar el Plan Nuclear en el año 2006 el PEN impulsa la ley 26566 que entre sus principales puntos se destacan<sup>4</sup>:

**Para NA-SA**

- Terminación de la Central Atucha II.
- Ejecución de la Extensión de Vida de la Central de Embalse (PEV)
- Concretar todos los actos con el fin de construir y operar una Cuarta Central Nuclear de Argentina de uno o dos módulos
- Realizar la Extensión de Vida de la CN Atucha I

**Para CNEA**

- Reactivación del Desarrollo del Reactor CAREM
- Reactivación de la Planta de Enriquecimiento de Uranio
- Producción continúa de la Planta de Agua Pesada de Neuquén

Otros de los objetivos cumplidos fue la recuperación de las capacidades nacionales. Trabajaron más de 47 empresas diferentes y solo en la zona de influencia se contrataron 180 PYMES.

Las principales contratistas, Electroingeniería, Vialco, Techint y Masoero Carmine aportaban el 48% del personal.

Con el fin de tener algunos datos de lo que significa una obra de esta magnitud y su impacto se destacan:

√ Pasajeros transportados por la UGCNAII - IVCN: 1.285.000

√ 42 millones de horas hombre

√ Pico de empleo directo 6900 personas

√ Comidas servidas: 4.110.000

√ Inversión 11.000 millones de pesos

La Gerencia General tuvo responsabilidades en el proyecto como la incorporación del personal que integraba el plantel de operaciones, así como su capacitación, incluyendo un simulador de la sala de control en replica 1 en 1. En el mismo entrenan todos los años el personal de operaciones simulado incidentes que deben enfrentar.

En el proceso de puesta en marcha el personal de operaciones era el responsable de operar los equipos una vez que el sector del proyecto lo liberaba.

Finalmente tuve la responsabilidad de presidir el comité Ad-Hoc que autorizaba las diferentes etapas del proyecto, la primera criticidad y las posteriores subidas de potencia. El 23 de enero de 2015 la planta llegó al 100% de potencia y un año y medio después recibió la licencia de operación por parte de la Autoridad Regulatoria al cumplirse todos los requisitos para el funcionamiento seguro de la misma.

Nos queda como responsabilidad formar los cuadros que dirijan la próxima etapa, la de concretar tanto una Central de uranio enriquecido como continuar con un proyecto nacional que consolide la actividad y le permita al país seguir siendo un referente tecnológico.

## Referencias

- 1 Los interesados en conocer los principios de seguridad de un reactor nuclear se puede obtener de la página de la OIEA <https://www.iaea.org/es/publications/8896/safety-of-nuclear-power-plants-design>
- 2 En los reactores de uranio natural el recambio de combustible es diario. Para Atucha la tasa de recambio era de 1.3 EC/días de plena potencia. En el equilibrio con ULE paso a ser de 0.75 EC/DPP.
- 3 Quien quiere profundizar sobre la reparación de la C.N. Atucha I en el año 1988 encontraran información en el libro digital realizado por Juan C Almagro, Roberto Perazzo y Jorge Sidelnik en la siguiente dirección.  
<http://aargentinasociencias.org/wp-content/uploads/2018/01/LibrosDigitales/Cronica-de-una-reparacion-im-posible-Libro.pdf>
- 4 Sobre el Plan Nuclear propuesto en el año 2009 se puede leer la ley N 26566 (<http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/160000-164999/162106/norma.htm#:~:text=ARTICULO%201%C2%BA%20%E2%80%94%20Decl%C3%A1ranse%20de%20inter%C3%A9s,nuclear%20a%20construirse%20en%20la>)

## Capítulo VII

### La Física Médica en la Argentina

Liliana Saidon

**Programa Universitario de Apoyo Socioeducativo en espacios comunitarios (UBA) - Docente Invitada en la Cátedra CALISA de la Facultad de Agronomía (UBA) - Ingeniera Asesora Plataforma por Derecho a la Ciudad (UBA)**

#### Física Médica desde los remotos tiempos de Leonardo

Marie Curie es considerada un símbolo de una profesión, la de física médica, que podríamos remontar a los estudios biomecánicos del sistema circulatorio de Leonardo da Vinci.

Más allá de Leonardo como artístico ancestro y Marie, la pionera, la física médica tiene una historia intensa y activa en la Argentina, con augurios prometedores hacia un futuro pleno de recursos.

Hoy, los departamentos de física médica pueden encontrarse en hospitales o universidades y su contribución es notoria en empresas de tecnología sanitaria, en particular en los departamentos de innovación, de control de calidad y de asistencia científica.

Su ejercicio engloba la aplicación de conceptos, teorías y métodos de la física a la medicina y a la asistencia sanitaria. En el trabajo clínico, involucra el ejercicio en hospitales o clínicas, de una profesión sanitaria específica. Entre las especialidades clásicas, se destacan la radioterapia en oncología; la radiología intervencionista o diagnóstica, la medicina nuclear y la radioprotección.

A su vez, la radioterapia se vincula al quehacer de la dosimetría; el control de equipamientos, como los aceleradores de partículas, y de braquiterapia o curieterapia (implantes de material radioactivo).

La radiología requiere técnicas de imágenes médicas como la resonancia magnética, la ecografía, la tomografía computarizada y los rayos X. La medicina nuclear incluye tomografía por emisión de positrones (PET), tomografía por emisión de fotones (SPECT) y terapia con radionucleidos.

El campo de acción se extiende a otras y diversas áreas, como en sistemas con radiación no-ionizante (láser, ultravioleta), ultrasonidos, el monitoreo fisiológico, audiología, neurofisiología, neurología, cardiología, informática en el dominio de salud, de la comunicación en medicina, inteligencia artificial, en la elaboración de estándares

y telemedicina, para mencionar las de mayor convocatoria en la investigación, el desarrollo y la innovación actuales.

El control es crucial, con una índole distintiva: a diferencia de otras ramas de la Física, en Física Médica no es dable experimentar sobre los “objetos” a los que se destinan las teorías, precisamente porque esos “objetos” son seres humanos y el más elemental sentido ético no lo permite.

Por ende, en este campo se “inventan” símiles de seres humanos además de desarrollar simulaciones.

El requerimiento clave de consensos en controles de seguridad vital, en el más literal sentido de la palabra, desencadena redes entre organizaciones nacionales e internacionales para encuadrar la acción en los diversos campos de la física médica.

En Argentina, la Sociedad Argentina de Física Médica (SAFiM) se vincula con la AFA (Asociación Física Argentina) y la SABÍ (Sociedad Argentina de Bioingeniería) y a nivel internacional, entre otras instituciones, cabe mencionar a las siguientes:

ICRU International Commission on Radiation Units and Measurements

ICRP International Commission on Radiological Protection

IAEA International Atomic Energy Agency

IOMP Organización Internacional de Física Médica

ALFiM Asociación Latinoamericana de Física Médica

EFOMP European Federation of Organisations for Medical Physics

AAPM: American Association of Physicists in Medicine

## **Una historia de pioneros en el ámbito público, desde el Roffo y el Curie**

### ***Desde el Hospital de Oncología “Marie Curie” en las Jornadas de su 80° Aniversario***

Hace poco menos de un siglo, en 1931, se inauguraba en la Ciudad de Buenos Aires un gran centro de salud público que se dedicó a la radiología y la fisioterapia y ofrecía radioterapia para personas con cáncer. Como recuerda Felipe Galmarini, oncólogo y ex jefe de la división Medicina:

*Se hizo a imagen y semejanza de un hospital europeo. Tenía tecnología de avanzada. En aquel momento se importaba “radium” desde Francia, para dar una radioterapia localizada.*

Con el desarrollo de otros tratamientos, el hospital empezó a cubrir varias áreas de la oncología. Ese Instituto de Radiología y Fisioterapia, cambió varias veces de nombre y en 1991, pasó a llevar el de la física Marie Curie. El día que se le impuso el nombre de Marie, se hizo un acto de inauguración al que estaban invitados los embajadores de Francia y Polonia.

Se descubrió una placa y el acto finalizó con la llegada del entonces intendente.

En una vitrina se resguardó y mantuvo por años (acaso hasta hoy), los certificados de fuentes radiactivas firmados por Marie.



## El primer pabellón en el Instituto Ángel Roffo

Tanto el Curie como el Instituto “Ángel Honorio Roffo” son instituciones públicas de oncología: el Curie depende de la Ciudad de Buenos Aires y el Roffo, de la Universidad de Buenos Aires.

Casi coetáneos, el Roffo inició sus actividades en 1922 como “Instituto de Medicina Experimental para el Estudio y Tratamiento del Cáncer”. Surgió como respuesta de la Academia Nacional de Medicina a la propuesta del Dr. Daniel Cranwell y al documentado trabajo del entonces joven médico Dr. Ángel Honorio Roffo.

El 19 de abril de 1922 se inauguró el primer pabellón del que se instituyó como primer establecimiento oncológico de América: disponía de salas de internación para hombres y mujeres, un quirófano con dependencias para esterilización del material, laboratorio y consultorios. En la actualidad, el Roffo cuenta con trece pabellones.

La Facultad de Medicina aprobó la creación en el Roffo, de la Residencia en Física Médica el 5 de abril de 2013 y la primera residente empezó mediando ese mismo año, egresando en julio de 2016<sup>2</sup>.

## Sumando equipamiento argentino y anecdótica experiencia colateral

El Hospital Marie Curie cuenta desde hace veinte años, con un equipo de cobalto fabricado por la Sociedad del Estado de Investigaciones Aplicadas (INVAP).

En el 2001, se instaló la unidad de telecobaltoterapia “Teradi 800” -con una fuente de cobalto radiactivo, fabricada por la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA)- y un simulador universal de radioterapia modelo UNISIM.

La instalación, en el 2001, del “Teradi 800” en el Hospital Curie, requirió tareas de adecuación de los recintos de alojamiento y un sistema (soft y hardware), para la planificación de tratamientos<sup>3</sup>. Funcionaban a partir de entonces, sendos equipos de Co-60; el canadiense Th 780 (recibido en 1975) y el Teradi 800, nacional, similares<sup>4</sup>.

El grupo responsable de la CNEA tuvo a cargo la calibración del Teradi 800 y el subsecuente informe al Hospital del valor de la tasa de dosis en las condiciones pautadas como “de referencia”.

Nos relata la física Diana Feld que, meses más tarde, uno de los técnicos dedicado a la irradiación diaria de pacientes le comunica: *“Es raro, la Th 780 y la Teradi 800 tienen colocadas fuentes radiactivas de casi la misma actividad, y, sin embargo, los tiempos de tratamiento para una misma dosis difieren en un 20% según el informe de tasa entregado”*. Pese a la cuidadosa revisión, no se encontró ningún error. Los médicos consultados, tampoco registraban manifestación clínica alguna en relación a este 20%. La prolija dedicación solo procuraba desconcierto.

Solo al tomar en cuenta un dato colateral, se develó el misterio, tal como lo relata Diana Feld: *“el reloj del equipo canadiense trabaja con la frecuencia de Canadá (60 Hz) y el equipo argentino, con la de Argentina, 50 Hz. Por lo tanto, el reloj o temporizador de la Th 780, cuando marca 1 minuto, en realidad corresponde a nuestros 1,20 minutos, de ahí el 20% de diferencia con la Teradi 800 argentina”*. Un detalle, obvio al advertirlo, que costó noches

de insomnio y, a su vez... redundó en experiencia: *“Desde entonces, siempre se pedía a quienes fueran a llevar adelante una práctica de calibración en el Curie, que compararan el comportamiento de ambos temporizadores al cronometrarlos para verificar su funcionamiento lineal, y que la unidad de medida de tiempo del temporizador fuera la esperada y correcta.”*

## Más allá del Principio de Precaución

Para ilustrar sobre precauciones y responsabilidad en relación a la radiación ionizante, Hélène Langevin Joliot relata lo sucedido cuando su familia decidió donar todos los materiales que poseían de la abuela, a la principal biblioteca de Francia.

Advirtieron que debían hacerles un análisis: *“Todos los papeles estaban contaminados. Estuvieron un año en cuarentena, y después los donamos”.*

Los apuntes de Marie Curie, de hecho, son *auto-radiografías*: podían leerse, básicamente, porque las letras están irradiadas por sus propios dedos<sup>5</sup>.

En la publicación sobre “Seguridad Radiológica” del 2002, Arbor González, representando a la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), y miembros de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires, advierten sobre la situación de la Física Médica en Argentina.

*“Con la creación en la Argentina, en el año 1997, de la ARN como autoridad competente en el ámbito de las radiaciones nucleares; y la instauración en el mismo año del Programa de Garantía de Calidad en el Ministerio de Salud (autoridad competente en el control del uso de rayos X), se produce una revisión de la normativa de aplicación para usos médicos de las radiaciones ionizantes. Tal revisión incluye la determinación de planteles adecuados a cada práctica. Los estándares internacionales aconsejan incrementar la presencia de especialistas físicos y su grado de capacitación en proporción al crecimiento de la complejidad tecnológica, de modo que no se concibe hoy un centro hospitalario de alta complejidad sin un gabinete físico, cuya composición estará definida en función del número de equipos y de pacientes”.*

Tal revisión incluye la determinación de planteles adecuados a cada práctica. Los estándares internacionales aconsejan incrementar la presencia de especialistas físicos y su grado de capacitación en proporción al crecimiento de la complejidad tecnológica, de modo que no se concibe hoy un centro hospitalario de alta complejidad sin un gabinete físico, cuya composición estará definida en función del número de equipos y de pacientes.

*“El retraso en incorporar a la currícula especialidades interdisciplinarias como la física médica y la reducida oferta de cursos de capacitación, produjo en la Argentina una desproporción entre el avance tecnológico (equipamiento y técnicas) incorporado en las aplicaciones médicas de las radiaciones, y la deficiencia en la integración de físicos a los planteles de los centros de salud.”*

Antes de crearse la ARN, era aún más escasa la oferta académica. Sobresalía el curso de física de la radioterapia creado en 1979, cuya aprobación era requerida para físicos

o ingenieros que debían estar presentes en centros de radioterapia que contaran con equipos de alta energía (se sumaban otras exigencias de la CNEA).

El documento subraya, en base a datos y a proyecciones sobre la participación de físicos en centros de radioterapia, medicina nuclear y radiodiagnóstico, la necesidad (aún no saldada) de especialistas físicos formados, y abre el debate sobre soluciones regulatorias implementadas y a continuar desarrollando. Esa etapa, caracterizada “de transición” hace dos décadas, persiste en requerimientos actuales de mayor intervención de profesionales formados en bioingeniería y física médica para establecer pautas, control y para la participación en cada comité bioético de institutos de salud y diagnóstico<sup>6</sup>.

De hecho, el primer Boletín de la Sociedad Argentina de Física Médica, del 7 de noviembre del 2008, se publica para “generar un espacio de difusión abierto tanto a profesionales y estudiantes como a toda persona interesada en ampliar su conocimiento sobre el tema”. Establece como propósito, aumentar la conciencia en coincidencia con la misión de la Organización Internacional de Física Médica (IOMP) y, “haciéndose eco de lo propuesto por la Asociación Latinoamericana de Física Médica (ALFIM)”. En tanto, el IOMP (International Organization for Medical Physics) instauró el 7 de noviembre como “Día Internacional de Física Médica (IDMP)” en “conmemoración del natalicio, en 1867, de Marie Curie, conocida por su investigación pionera sobre la radiactividad”, y como promotora del uso de fuentes radiactivas para el tratamiento del cáncer.

Justamente, y no por coincidencia, el 7 de noviembre es la fecha del primer Boletín del SAFiM. Tal Boletín se propuso darle continuidad, como revista de publicación periódica, a la difusión de las actividades de la Física Médica en nuestro país y el mundo. Ese rol lo cumplen actualmente, sitios y páginas de los organismos dedicados a estas temáticas.

Se destaca la divulgación de publicaciones, cursos, eventos científicos y académicos que lleva adelante la Sociedad Argentina de Física Médica, la SAFiM, cuyo congreso bianual propicia, a su vez, la articulación entre organismos de nuestro país y del mundo.

Cabe mencionar además, el quehacer de formación en el campo nuclear en general más que de física médica en particular, del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson (IDB).

## **La Física Médica desde sus actores y pioneros**

Dan Jacobo Beninson, figura señera en protección radiológica, nació en 1931 en Trelew. Este médico y PhD. en Física, integró la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), fue Director del Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (1974-79) y asesor del Organismo Internacional de Energía Atómica (1987-94).

Tras obtener un Ph.D. en Física Aplicada en 1958, ingresó a la CNEA donde cumplió funciones como investigador del Departamento de Radioisótopos y coordinó el Departamento de Radiofísica.

Fue uno de los fundadores de la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA) y entre tantos otros galardones, recibió el Premio Konex 1983 en Física y Tecnología Nucleares.

En junio de 1991, fue nombrado “Personalidad del Año” por los aportes científicos en el campo de la energía nuclear por la Sociedad Americana Nuclear. En agosto de 1991, fue distinguido por la Health Physics Society de Estados Unidos como su “G. William Morgan Lecturer”, por sobresalientes contribuciones a la ciencia y el arte de la protección radiológica.

El 15 de abril se celebra el Día de la Protección Radiológica en América Latina y el Caribe, día en que en 1996, el Dr. Dan Beninson recibió el más importante galardón a nivel mundial en el campo de la protección radiológica, el Premio Sievert, en el IX Congreso IRPA (por las siglas en inglés de Asociación Internacional de Protección Radiológica), realizado en Viena

Fue la primera vez que un latinoamericano recibía esta distinción.

El Dr. Beninson ha dejado invalorable artículos científicos, muchos considerados inaugurales en el campo de las disciplinas nucleares y de la protección radiológica.

En 2006, pocos años de su muerte, en 2003, se crea el Instituto de Tecnología Nuclear que lleva su nombre, Dan Beninson (IDB). Surgió por convenio entre la Universidad Nacional de General San Martín (UNSAM) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), a fin de formar recursos humanos especializados en el campo nuclear, ofreciendo carreras desde el nivel inicial de pre-grado hasta la máxima titulación de Doctorado<sup>7</sup>.

## **La formación en Física Médica tiene su historia**

En el año 1988, por iniciativa de la entonces presidenta de la CNEA, Dra. Emma Pérez Ferreira, tuvo lugar en San Carlos de Bariloche el Primer Workshop Latinoamericano de Física Médica y a continuación, un Curso Internacional de Física Médica, centrado en física de la radioterapia, que se llevó a cabo con expertos del OIEA.

Se le encomendó a Omar Bernaola la organización del Workshop, Omar seleccionó para la tarea a Mariana Levi de Cabrejas y Diana Feld, de Buenos Aires, y a otros colaboradores de Bariloche.

El alcance latinoamericano se plasmó gracias al esfuerzo por respaldar la concurrencia de actores de América Latina, ofreciéndoles becas. A su vez, la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), se las otorgó a residentes argentinos involucrados en Física Médica, plena o incipientemente.

El Curso Internacional de una semana dictado a continuación, organizado por la Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) fue dirigido por Madame Andrée Dutreix, reconocida física francesa, dedicada a la física de la radioterapia. En ese contexto y ocasión se constituyó una Sociedad Científica: la SAFiM (Sociedad Argentina de Física Médica), la que años más tarde obtendría su personería jurídica y es hoy referente nacional e internacional en el área<sup>8</sup>.

## Curso y habilitaciones

Debido al desarrollo que había experimentado la actividad nuclear en nuestro país, a los pocos años de la creación de la CNEA (1950), se hacía necesario que las actividades de promoción y desarrollo acerca de los usos de radioisótopos y radiaciones ionizantes en medicina, investigación e industria, se hicieran bajo determinadas condiciones de regulación y control.

Para asegurar el uso correcto y la aplicación segura, se dio inicio desde 1958 al “Curso de Metodología y Aplicación de Radioisótopos”, por iniciativa de Celso Constantino Papadópolos. Se dictaba no solo en Buenos Aires, sino en distintas ciudades del país, con la colaboración de universidades. Estaba destinado inicialmente a médicos y bioquímicos; los físicos se sumaron a posteriori.

El visionario ingeniero Papadópolos se dedicó también a la normativa y vigencia del Reglamento para Uso de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes por el correspondiente decreto<sup>9</sup>.

Se dictaron cuatro cursos. Años después, en la década de 1960, al ingresar los primeros equipos de Cobalto-60 (telecobaltoterapia), se hizo necesario un curso ad-hoc y la CNEA crearía en 1964, el de Dosimetría en Radioterapia para la formación de médicos radioterapeutas en aspectos físicos de la radioterapia. Más adelante, se incorporaron físicos y dosimetristas (técnicos colaboradores de físicos médicos).

Originalmente, su director fue Hugo Mugliaroli, ingeniero que se convirtió en el primer Especialista en Física de la Radioterapia del país, destacado por la CNEA en el Hospital Rivadavia.

En 1969 hubo un intento de crear una escuela conjunta entre la Universidad de Buenos Aires y la CNEA para formar médicos Radioterapeutas y Físicos en Radioterapia. Se crea, así, el grupo de Dosimetría Clínica que se desempeñó en el Instituto Roffo. Rubén González fue el responsable de ese grupo y pasó a ser el director del curso.

El grupo desarrolló diversas tareas: planificación de tratamientos, calibraciones, adquisición de datos dosimétricos y controles en equipos.

El curso Dosimetría en Radioterapia, de unas seis semanas de duración, culminaba con el examen (de dosimetría clínica y protección radiológica), a fin de obtener la licencia habilitante para ejercer los respectivos roles en actividades vinculadas al manejo de radiación en medicina. Se puede afirmar que todo profesional de la época pasó por este curso<sup>10</sup>.

En 1979, a raíz del ingreso en 1978 de Aceleradores Lineales de Electrones (ALE) al país, se estableció también el curso de Física de la Radioterapia, cuyo primer director fue Rubén González. Desde 1988, la física Diana Feld pasa a ser la directora del curso de Dosimetría en Radioterapia, y a partir de 1996, es coordinadora del curso Física de la Radioterapia, reemplazado a posteriori, por la Especialización en Física de la Radioterapia (EFRAD), en el Instituto Dan Beninson.

El curso Dosimetría en Radioterapia es compartido entre los tres grupos (técnicos, ingenieros, físicos y médicos). Varía de año en año el número de participantes (20 en promedio) y la composición del curso, siendo particularmente enriquecedora

su diversidad dado su propósito de adquirir un “lenguaje en común” entre sus integrantes. Compartir un lenguaje permite saber, por ejemplo, de qué se habla al referirse a “volumen a irradiar”. Máxime cuando en la publicación ICRU 50<sup>11</sup> se definen distintos tipos de volumen considerar en la planificación de tratamientos. Los físicos e ingenieros continuaban su formación en el Curso Física de la Radioterapia, englobado actualmente en la EFRAD.

Las normas que actualmente aplica la ARN, incluyen una formación académica y una práctica clínica posterior, de aproximadamente año y medio. Para los médicos y técnicos dosimetristas, la formación académica estaba dada por el curso de dosimetría de CNEA.

Actualmente están acreditados también, los cursos de dosimetría del Instituto Beninson, el de la Universidad de Córdoba, el de Mendoza y algún otro en el país.

Para los físicos en radioterapia se requería (hasta la aparición de carreras de grado), el curso de postgrado Física de la Radioterapia de CNEA.

Este curso tenía varios módulos, como el de Radiobiología dictado por el Dr. José Mayo, médico e investigador de CNEA.

Uno de los módulos se dictaba (y aun se dicta), en el Laboratorio Secundario de Calibraciones Dosimétricas, en el Centro Atómico Ezeiza (CAE). El cupo es acotado, ya que al requerir el empleo de las instalaciones hospitalarias, no puede ser numeroso. Suelen ser 5 o 6 estudiantes por año, nunca más de 10. Las normas también se aplican en este caso, y se requiere además una práctica clínica.

Cabe una explicación detallada:

- La práctica clínica para físicos médicos debe estar bajo la supervisión de un físico médico con una licencia vigente y que además, la haya renovado por lo menos una vez.
- Las normas inicialmente establecían categorías para los centros para poder llamarse “Centro de Radioterapia”. Originalmente se requería que no sólo atendiera pacientes: debía comprometerse con la formación, tomando pasantes para realizar allí la práctica clínica.
- Los cursos de radioisótopos y dosimetría en radioterapia tienen su manual o compendio elaborado por CNEA. El de dosimetría, se sigue actualizando y a sus primeros autores (los ingenieros Aristóbulo Gómez, Rubén González, Hugo Mugliaroli, Clemente Ortigueira, Celso Papadópulos, Alejandro Placer y la física Diana Feld), después de 1970 se sumaron José Mayo, Margarita Saraví, Judith Kessler y Gustavo Sánchez, entre otros.

Más allá de la normativa de requerimientos para contar con la habilitación inicial, es preciso renovar la licencia cada cinco años. Se trata de un trámite simple si se está ejerciendo la profesión e imprescindible para adecuarse a las innovaciones que la tecnología propone.

## Iniciativas: de estudiantes a fundadoras

Desde ese Primer Workshop, surgieron iniciativas desencadenantes de carreras y organismos que, en marzo del 2021, despidieron a una de sus queridas organizadoras, de algún modo fundadoras.

Mariana Levi, integrante activa del comité organizador del Workshop en 1988, es reconocida vívidamente como símbolo del ejercicio apasionado y como partícipe crucial de la historia de la Física Médica en Argentina.

Así, la recuerdan, en marzo del 2021, la Sociedad Argentina de Física Médica y la Sociedad Argentina de Radioprotección

*“Mariana Levi de Cabrejas y Anita Cozman de Garreta fueron las primeras estudiantes de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA que culminaron sus estudios de la licenciatura en Física con tesis de grado en temas de Física Médica.*

*No fue fácil lograr que aceptaran este tipo de tesis, pero el tesón que pusieron ambas hizo que lo lograran.*

*En el Primer Workshop del que fue organizadora, nació SAFiM, la Sociedad Argentina de Física Médica, de la que Mariana fue socia fundadora y posteriormente, Presidenta. Impulsó, junto a Susana Blanco, la creación de la primera Maestría en Física Médica en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires de la que fue directora y co-directora, cargos que desempeñó ad-honorem.*

*Consejo Directivo y Comisión Fiscalizadora de SAFiM”*

Con un estilo más personal, la describe en una carta el Dr. Rodolfo Touzet:

*“Toda herramienta matemática de control en Medicina Nuclear son tuyas o fueron mejoradas por vos, no hay documento del IAEA en protección radiológica sin tu sello, no había congresos de Medicina Nuclear que no tuvieran tus cursos... todo lo hacías, lo mejorabas y enseñabas.”<sup>12</sup>*

La Sociedad Argentina de Radioprotección (SAR)<sup>13</sup> destaca su labor como pionera:

*Mariana Levi de Cabrejas fue pionera en la implementación de los controles de calidad de los equipos de Medicina Nuclear en la Argentina e impulsó que dichos controles se plasmaran en normativa para utilizar y adquirir sistemas de Medicina Nuclear en nuestro país y América Latina. Se la destaca como una de las primeras profesionales que validaron un sistema PET en Argentina.*

*Es autora de los libros “SPECT, una guía práctica” (1992) y “Tomografía en Medicina Nuclear” (1999), “Tomografía por Emisión de Positrones y CT: instrumentación y aplicaciones” (2011), entre otras publicaciones destacadas de su especialidad.*

## Protagonistas desde la partida



De izquierda a derecha: Dan Beninson, Hugo Mugliaroli, José Mayo.



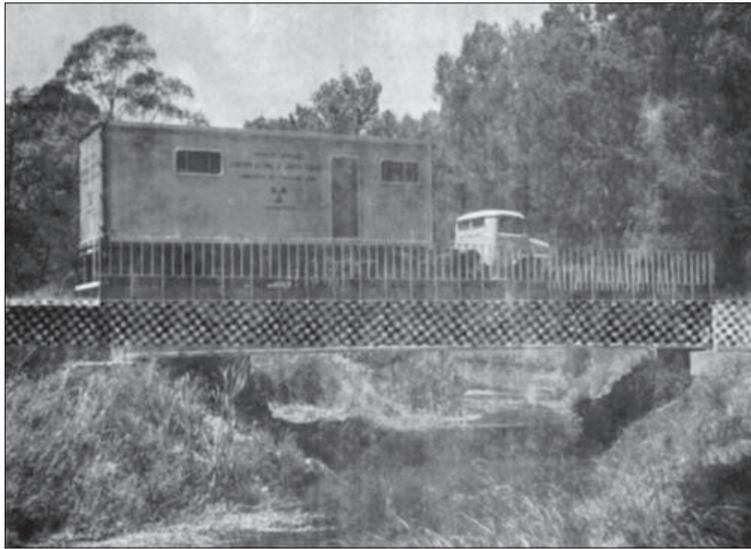
De izquierda a derecha: Omar Bernaola, Rubén González y Mariana Levi de Cabrejas.

La historia de la SAR es la historia de la intensa vocación de fundadores. Desde la SAR, se destaca la labor de Hugo Mugliaroli. Hugo fue a su vez autor, junto a Rubén González y Dan Beninson, de manuales e instructivos, como el “Manual de Metodología y Aplicación de Radioisótopos” e “Instrumentación para Dosimetría” editado en 1972 por la CNEA<sup>14</sup>.

**Rubén González** fue uno de los creadores del curso de dosimetría en radioterapia por el que pasaron médicos, físicos y técnicos argentinos durante décadas para la habilitación a ejercer.

A fines de los años 70, y como seguimiento de un acuerdo de 1968 de cooperación en el campo de los usos pacíficos de la energía nuclear con Uruguay, estuvo a cargo de un programa de cursos, conferencias y de la calibración de todos los equipos de radioterapia de dicho país en una colaboración entre sendas comisiones de energía atómica.

Rubén se ocupó, incluso, de la dosimetría de la unidad móvil de irradiación con Co-60 IMO-I de la CNEA (en la foto).



Cabe recordarlo desde la carátula del Manual de ese curso, que exigía horas de trazado; se anticipaba lo procurado, para evitar modificar ángulos o ponderaciones de los haces ¡a mano!

El promotor y alma de la formación de la SAR fue el **Dr. Dan Beninson**.

COMISION NACIONAL DE ENERGIA ATOMICA

### MANUAL DEL CURSO DOSIMETRIA EN RADIOTERAPIA

\* Ing. Gómez, Aristóbaldo      \* Ing. Origuera, Cleonice  
\* Ing. González, Aslón        \* Ing. Papadópulos, Celso F.  
\* Lic. Linderoth, Diana       \* Ing. Pizer, Alejandro  
\* Ing. Mugliardi, Hugo

\* CNEA - Oficina Federal de Radiación  
\*\* CNEA - Departamento de Protección Radiológica Operacional  
7. 17 noviembre 1971

**PRACTICAS**  
Ensayo y Calibración de un equipo de terapia de rayos X.  
Calibración de un equipo de telecobaltoterapia.  
Trazado de curvas de isodosis en un equipo de telecobaltoterapia y centrado de campos oblicuos.

Manual del Curso  
DOSIMETRIA EN RADIOTERAPIA  
ATLAS

ESTADO UNIDO  
KAPLAN-ROBERTSON  
1961

I - Definiciones y unidades  
II - Elementos de Física Atómica y Radioactividad  
III - Interacción de la radiación con la materia  
IV - Efectos y propiedades de los rayos X  
V - Dosimetría de fuentes puntuales gamma  
VI - Dosimetría de fuentes lineales gamma  
VII - Instrumentación para dosimetría  
VIII - Planificación de tratamientos en teleterapia estática  
IX - Planificación de tratamientos en teleterapia dinámica  
X - Cálculo de filtros en cuña  
XI - Dosis integral en teleterapia  
XII - Cálculo de blindajes  
XIII - Normas básicas de seguridad radiológica

Fig. 2-6

El destacado Presidente de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (1985-93), de la Autoridad Regulatoria Nuclear a posteriori, hasta pasar, de 1998 a 1999, a presidir la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), fue el médico y doctor en Física, Dan Jacobo Beninson. La SAR tuvo su primera reunión el 7 de diciembre de 1965 y aglutinó durante más de 50 años a técnicos y profesionales que trabajan en protección radiológica y sigue reuniéndolos. El Premio Sievert es el máximo galardón científico otorgado por la Asociación Internacional de Protección Radiológica (IRPA). Comenzando con el Congreso Internacional IRPA de 1973, cada Congreso Internacional ha sido inaugurado por la Conferencia Sievert, que es presentada por el ganador del Premio Sievert.

El 15 de abril de 1996, el Dr. Dan Beninson recibió de parte de la IRPA el Premio, durante el Congreso IRPA en Viena cuando dictara la conferencia sobre “El riesgo de las radiaciones a bajas dosis”, una síntesis de sus ideas innovadoras.

En su honor, se le da nombre al Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson (IDB), en cuyo Centro de Educación y Entrenamiento para Instalaciones Nucleares (CEEPIN), se ofrecen cursos regulares y especiales de formación profesional y técnica en las diversas aplicaciones de la tecnología nuclear para instituciones nacionales o extranjeras.

**Hugo Mugliaroli**, además de ser un ardiente defensor de la regulación y control de la actividad nuclear en medicina desde la CNEA, está considerado como el primer Especialista en Física de la Radioterapia del país (físico médico), destacado por la CNEA en el Hospital Rivadavia. Fue distinguido por la Sociedad Argentina de Física Médica (SAFiM).

Con su participación activa, se creó el Servicio de Radiofísica Sanitaria en el ámbito de la Dirección Nacional de Saneamiento de la Secretaría de Salud Pública de la Nación. Impulsó y negoció con Canadá las modificaciones necesarias para que la Central Nuclear Embalse pudiera producir cobalto 60 (para el mercado de radioisótopos de uso medicinal e industrial), que no estaba contemplado en el diseño original de la central. El resultado es importantísimo hoy en día: Argentina es el tercer productor mundial de cobalto 60. Impulsó y participó en el desarrollo de equipos de cobaltoterapia nacionales. Participó en el desarrollo de los contenidos de los cursos de metodología y aplicación de radioisótopos y en dosimetría en radioterapia del que fue su primer director y docente en ambos.

Solía decir *“La CNEA, además de ser nuestro segundo hogar, es nuestra escuela del conocimiento, y también, y especialmente, escuela de vida”*.<sup>15</sup>

**Omar Alberto Bernaola**: “Físico” (a secas), como él decía cuando le preguntaban por su título, se recibió en 1963 en el Instituto Balseiro de Bariloche. Omar ingresó hacia los años 80 al Departamento de Radiobiología de la CNEA, cuyo jefe era el Dr. José Mayo, donde fue pionero en la aplicación de métodos físicos a problemas biológicos. Sus estudios de daños por radiación en sistemas vivos, lo llevaron al problema de la dosimetría y consecuentemente, al campo del empleo de trazadores nucleares.

Otras de sus investigaciones se centraron en métodos de terapia por bombardeo iónico, daños por radiación, comportamiento de polímeros. Entre los años 1991 y 1993

fue Jefe del Departamento de Radiobiología de la CNEA. Su participación fue decisiva en la creación de SAFiM, tras haber organizado el Primer Workshop de Física Médica en Bariloche, en 1988.

Es importante remarcar el empeño de Omar y de cada integrante del comité organizador en que los jóvenes, becarios, y estudiantes pudieran participar de estas reuniones, respondiendo a la preocupación por las nuevas generaciones de científicos. Omar también fue miembro fundador de la SARRF (Sociedad Argentina de Radioterapia Oncológica, Radiobiología y Física) en 1983. La Asociación de Ex Alumnos del Instituto Balseiro (AEIB) otorga anualmente el Premio Omar Alberto Bernaola a la Mejor Tesis de Maestría en Física Médica (MFM) del Instituto Balseiro<sup>16</sup>.

### **La seguridad regulada hace décadas por la Autoridad Regulatoria Nuclear, la ARN**

La salvaguarda para el empleo nuclear seguro, tiene su recorrido nacional: la rama regulatoria de la Comisión Nacional de Energía Atómica lo tiene a su cargo desde 1950 hasta 1994.

Lo delega al Ente Nacional Regulador Nuclear (1994-1997) que da lugar a la ARN, Autoridad Regulatoria Nuclear, creada en 1997 como entidad autárquica en jurisdicción de la Presidencia de la Nación.

La ARN es el organismo nacional dedicado a regular la actividad nuclear en las áreas de seguridad radiológica y nuclear, de su salvaguardia y no proliferación. Asesora a los poderes del Estado.

La ARN surge con el fin específico de asegurar que la actividad nuclear se realice solo con fines pacíficos y, como se declara en su página: *“prevenir el acceso no autorizado a materiales nucleares que pudieran provocar situaciones de riesgo”*.

### **Desarrollos demandando a la formación: relación entre la práctica clínica y la física médica**

Mientras era baja la energía de radiación, bastaba el ojo clínico para establecer cuándo detenerla: era suficiente observar la reacción en la piel del paciente.

Al introducirse el cobalto, a fines de 1950, las energías más altas hacen necesaria la medición precisa de las dosis para considerar los efectos biológicos en los órganos internos. La piel deja de ser el “fusible”: cuando aparecen efectos epidérmicos, los internos, que son de una gravedad irreparable.

Más allá de ese punto de inflexión, pueden mencionarse diversos factores que fueron conformando conciencia de la necesidad de una relación entre médicos y físicos médicos en el quehacer del campo. Fueron factores clave para evidenciar la necesaria presencia de físicos médicos, la mejora en la definición de las imágenes de diagnóstico y, definitivamente, la introducción del software para el cálculo de la distribución interna de las dosis, que dio lugar a la “terapia conformacional”.

A su vez, los residentes cuyas prácticas se hubieran desarrollado con la colaboración de los físicos, empezaron a demandar su concurrencia en su ulterior ejercicio profesional. La requerida colaboración de físicos médicos desencadenó la necesidad de formación de los profesionales y de su habilitación. Esto implicó establecer carreras de grado y posgrado así como el acuerdo de los requisitos para habilitar el desempeño de tales profesionales. A las condiciones para el desempeño se sumaron las del sistemático control de calidad de equipos y de procedimientos.

El Centro Regional de Referencia para Dosimetría (CRRD) fue creado en 1968 por acuerdo entre la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la CNEA, de Argentina, en cooperación con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con el propósito de mejorar la dosimetría y planificación de tratamientos en centros de radioterapia, formando y acrecentando la participación de físicos médicos dentro de su equipo de profesionales. Ese Laboratorio Secundario de Calibración Dosimétrica fue el primero en el mundo, en simultáneo con el de Rumania, vinculado a los Laboratorios Primarios de Estándares y parte de la actual Red Internacional OIEA-OMS.

A su vez, se pusieron en circulación las primeras Encuestas sobre Dosimetría Termoluminiscente de inter-comparación, ¡toda una tarea en que más que “auditar” se proponía colaborar para poner en marcha, con calibración precisa, los equipos del país!

Al emprender este quehacer, tanto aquí como en el resto del mundo, se circuló por idas y vueltas, registro dispar de información, ajustes y reparaciones... hasta que las normas se aceptaron, adoptaron y fijaron desde la CNEA y posteriormente por la Autoridad Regulatoria Nuclear.

Estas acciones, a su vez, fueron evidenciando un requisito clave para habilitar el desempeño profesional: la tutela de residentes por físicos médicos ya formados. Cada institución de residencia debía contar, al menos con un físico médico con experiencia para el seguimiento de residentes.

La Maestría en Física Médica en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, se implementó como carrera de posgrado dado que en nuestro país, ya contábamos con profesionales con sólida formación para avanzar en lo que la Física Médica requería.

En otros países de la región y el mundo, esta base debía conformarse previamente mientras que por aquí “la base estaba”.

El plan de estudios incluye las materias obligatorias (Anatomía, Fisiología, Elementos de Computación, Bioestadística, Física en Medicina y Biología) y una amplia diversidad de otras, para la elección de alguna por la que se debe optar (electrónica, física de las radiaciones, radioprotección, análisis de señales y tantas otras detalladas en la página correspondiente).

Actualmente, está a la espera de revisión y aceptación un plan con un recorrido inicial troncal y de profundización en la formación, acorde al desenvolvimiento ulterior correspondiente.

Por otra parte, la Maestría en Física Médica, implementada en base a la sinergia entre el Instituto Balseiro y la Fundación Escuela de Medicina Nuclear de Mendoza

(FUESMEN), impulsa un programa de investigaciones en aplicaciones médicas de la física en el Centro Atómico Bariloche y prácticas en el medio clínico en FUESMEN, con manejo y desarrollo de instrumentos de última generación para tratamiento y diagnóstico.

El enfoque multidisciplinario permite a los egresados el desempeño en tareas de investigación o desarrollo en el medio académico, industrial o clínico, en contacto con otros profesionales a fin de interactuar con los de la salud y en relación directa con pacientes.

La capacitación aspira a prepararlos para cubrir los requerimientos académicos fijados por la Autoridad Regulatoria Nuclear para avanzar en la práctica clínica, exigida para desempeñarse en ese medio.

A lo largo de la vida profesional es necesaria una capacitación continua en física médica, mediada por cursos, congresos, simposios, formaciones de los fabricantes y períodos en otras instituciones: lo habitual es asistir a uno de tales eventos por año, ya sea a nivel nacional o internacional.

### **División Física Médica de la AFA: ¿más continuidad que ruptura?**

La división de Física Médica de la AFA (Asociación Física Argentina), premia anualmente a jóvenes investigadores por sus desarrollos en el área en su Congreso Anual.

Durante el 2020, se desarrolló la selección, acción del jurado y premiación, virtualmente. Más allá de los obstáculos sorteados por la inusitada situación, vale destacar la composición de los trabajos seleccionados.

Del listado de títulos, es posible elaborar indicadores de tendencias acordes a los temas “más visitados” de la física médica actual. Cabe detenerse en una de las propuestas:

#### ***Diseño de cámara resonante para la evaluación de fantomas óseos mediante microondas***

Sus autores - Jesús Fajardo Ramiro Irastorza y Joe LoVetri - avanzaron con un desarrollo experimental para abordar un desafío interdisciplinar, conformando un equipo del Departamento de Física Médica del Centro Atómico Bariloche; el Instituto de Ingeniería de la UNAJ (Universidad Nacional Arturo Jauretche); el Instituto de Física de doble pertenencia CONICET-UNLP (Universidad Nacional de La Plata) y del Department of Electrical and Computer Engineering de la University of Manitoba. Su desarrollo procura innovación a la par de continuidad, ilustrando la idiosincrasia de la física médica, sobre todo en ciertas áreas.

¿Idiosincrasia? Efectivamente, en Física Médica, como decía irónicamente el Dr. Eduardo Barrios, médico, radioterapeuta y activo docente en los cursos de Dosimetría y Física de la Radioterapia<sup>17</sup>, “los pacientes se niegan a ser dispuestos en rodajas para que podamos medir en ellos”: es preciso “inventar” símiles de seres humanos para las pruebas: los llamados “fantomas”.

¿Continuidad? Efectivamente, ya el 7 de noviembre de 2017, la Organización Internacional de Física Médica (IOMP) galardonaba a la física Diana Feld, el Día

Internacional de la Física Médica. La directora de la Especialización en Física de la Radioterapia del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson, ex-directora de la Maestría en Física Médica (UBA) y ex-jefa de la División de Física Médica de CNEA recibió el premio de la IOMP, cuya misión es *«avanzar en la práctica de la física médica mediante la difusión de información científica, fomento del desarrollo educativo y profesional, y promoción de servicios médicos de la más alta calidad»*.

La IOMP le otorga el premio “International Medical Physics Day” por su dedicación a la formación de físicos médicos de Argentina y América Latina, en la que eran frecuentes las tesis y desarrollos dedicados a “fantomas”. El equipo de Jesús Fajardo Ramiro Irastorza y Joe LoVetri, premiado en 2020 por su fantoma, evidencia la continuidad de una tarea de formación y de desarrollos en física médica. Diana Feld con Elisa Singer armaron fantomas de cera para el análisis de la distribución de dosis<sup>18</sup>.

Es de considerar la continuidad y complementariedad entre esa y otras tantas experiencias previas y el desarrollo del 2020. Como Diana explica, su propósito reside en procurar *“en radioterapia, entregar la mayor dosis de radiación al tumor y la menor a los órganos sanos; en los estudios de diagnóstico de medicina nuclear como en rayos X, entregar la mínima dosis para ver lo máximo”*.

Para controlarlo, se recurre a ensayos con fantomas, modelos que simulan el cuerpo humano. Suelen ser de agua, porque somos agua, como una pecera con las dimensiones del cuerpo humano, sobre el que se miden las variaciones en la cantidad de radiación que reciben los distintos puntos: *“en el eje, alejado del eje, para ver si la dosis de radiación se distribuye como queremos”*, detalla la física.

Agrega que también *“se hacen fantomas heterogéneos, con distintos órganos, se simula el pulmón con corcho, o los huesos con aire que hay en el cuerpo. No es lo mismo que la radiación se tope con un hueso, aire o tejido blando. Lo que reciba el paciente dependerá de lo que tenga en el camino el haz de radiaciones”*.

Algunas de las tareas de esta especialidad consisten en optimizar los tratamientos radiantes; calibrar el equipamiento para asegurar que funcione dentro de los límites recomendables; avanzar en diseños de equipos, así como en incursionar en la terapia con partículas pesadas como el protón, con las que se irradia menos el órgano sano situado detrás del tumor.

Más allá de fabricaciones de fantomas, como las documentadas en la tesis de Maestría de Elisa Singer de 1999, *“Análisis de técnicas de radioterapia conformada para irradiación de superficies geométricas de poca profundidad”*<sup>19</sup>, y de desenvolvimientos complementarios en la simulación del 2020, vale recordar otro fantoma antropomórfico en que trabajó Mariana Casal. El fantoma se llama BOMAB, (BOTTle MANnequin ABSorber), es de polietileno y se lo llena con agua.

Ese, “el” fantoma del que se subraya “el” por ser un “varón”: se le añadieron mamas de material similar para poder hacer ensayos también en esos órganos<sup>20</sup>.



En ocasiones, el ingenio suena “burlón”. Como en este excéntrico caso, o cuando se denomina “Pericles”, la marca Alderson-Rando, haciendo de cuenta que más que a una marca, se alude al siglo de apogeo escultórico de la figura humana. ¿Quién dijo que quien se dedica a la tarea científica, y a la física en particular, carece de sentido del humor? ¿O que es una “rata” de biblioteca o de laboratorio?

### **Recursos con mucha “polenta”**

Y hablando de “rata”, estudiantes de la maestría aún recuerdan la intervención de una en la clase. Sí, en clase y con esta explicación, previa y posterior al griterío: el haz de radiaciones incide sobre la superficie del paciente, que tiene una forma irregular.

Esto los diferencia de los fantasmas de agua que tienen una superficie perpendicular al haz. Para “aplanar” la superficie del paciente, ante la imposibilidad de “plancharlo”, se “rellena” la parte más “hundida” con algún material semejante al tejido, el denominado *bolus*. ¿Cómo fabricar adecuados y económicos *bolus*?

En determinado momento, se lo logra fabricado “bolsitas” rellenas de polenta (tiene densidad semejante al tejido humano), impregnadas con Espadol o producto similar, para evitar que se eche a perder. El *bolus* así logrado resulta maleable y se adapta a la forma del paciente, como se les explica a los estudiantes.

Al abrir el cajón para buscar uno de esos *bolus*, la docente se encuentra con una rata saboreando la polenta con Espadol. Los estudiantes se asustaron más de los gritos que de la rata y el impacto de la experiencia, hace perdurable la experiencia, ¿“didáctica”? A tal punto que merece formar parte de la “historia viva” de nuestra Física Médica.

### **¿Hay física médica más allá de la radiobiología y sus alrededores?**

Al repasar la serie de entrevistas a “Nuevos/as Doctores del Balseiro” o el repositorio de tesis de maestría o doctorado es notorio el porcentaje dedicado a radiobiología y cuestiones anexas<sup>21</sup>.

Sin embargo, también se registran otro tipo de aportes vinculados, por ejemplo, a la interpretación de imágenes, a la modulación y aplicación de señales aplicadas a estudio y tratamiento de epilepsia o Parkinson, al empleo del láser en distintas áreas y a la modelización de pronósticos.

Por ejemplo, desarrollos atendiendo a demandas recientes, como el de “valoración del pronóstico de pacientes pos COVID-19” o a el de generación de un “algoritmo estadístico multivariado”, evidenciando que el software se articula a los dispositivos en un enfoque integral.

Otro caso, es el de la tesis del reciente doctor en Física Médica, Osvaldo Velarde, *“Desarrollo de paradigmas de neuromodulación adaptativa para el tratamiento de trastornos motores”*.

Se centró según Osvaldo relata, *“en el estudio de tratamientos para trastornos motores como el Parkinson y la epilepsia”*, con intervención de una señal (por ejemplo, eléctrica) para modificar la actividad neuronal a largo plazo.

El desarrollo, culminado tras cinco años como becario de CONICET en el Departamento de Física Médica del Centro Atómico Bariloche (CAB), lo conforman tres bloques.

Los modelos matemáticos de redes neuronales desarrollados permiten entender las características de las señales, al modo de un electroencefalograma, para advertir la respuesta al tratamiento de neuromodulación eléctrica llamado “Estimulación Cerebral Profunda”.

En el segundo bloque, se procesan las señales de pacientes epilépticos y la de modelos animales parkinsonianos para captar posibles mecanismos de aparición.

En base a lo registrado, se diseña un esquema de neuro-modulación adaptativa (con retroalimentación) para configurar tratamientos nuevos con ventajas respecto a la mejora de los síntomas y a la reducción de efectos secundarios.

Los desarrollos descriptos, así como otros mencionados, parecen requerir una dedicación sin tregua alguna, de un rigor monástico.

Sin embargo, en cada entrevista a físicos médicos cuando refieren a su actividad, aparece un entusiasmo vital contagioso y sentido del humor. Destaquemos la respuesta frecuente, frente a la pregunta clásica:

-¿Qué consejo te darías a vos mismo si pudieras hablar con tu versión del inicio de la carrera?

- Disfrutá cada momento, cada clase, cada discusión, cada reunión y rato libre. Todo tiene lo suyo.

Acaso, parte de “lo suyo” sea encontrar el modo de comunicarse entre profesionales de las diversas áreas confluyentes en el campo de la física médica, lo que desencadena diálogo y escucha para un genuino encuentro con otros.

## **Compartiendo un lenguaje común: percepción y norma de las unidades de medida**

En algunos de los desarrollos mencionados y en tantos otros, circula implícita la necesidad de compartir un lenguaje entre profesiones que enfrentan desafíos vitales

e interdisciplinarios en común. Acordarlo desde lo básico a lo sutil, para describir, medir, interpretar y analizar.

Un ejemplo cotidiano, que podríamos llamar “¿cuánto tiempo es un rato?”, ilustra una posible distancia a acortar, relatada por una física médica rememorando sus prácticas como maestranda.

*“Frente a un paciente con enfermedad de Kaposi, como todavía no contábamos con electrones, decidimos hacer una sucesión de campos tangenciales con protección central para evitar la irradiación central.*

*Para hacer la simulación con un fantoma de la peculiar forma de la pierna, planeamos sacarle el molde. Le preguntamos a los médicos cuánto tardaba en secarse el yeso y contestaron: ‘un ratito’.*

*Pusimos manos a la obra pero estuvimos ‘muchos ratitos’ hasta que el yeso fraguara.*

*El paciente colaboraba mientras acercábamos estufas, ventiladores, tratando de conformarlo comentando que sin duda otras veces el yeso secaba más rápido...”*

Mientras ya se establecía con rigor el valor de unidades de medida del campo compartido, un “rato” quedaba fuera de lo “normalizado” o consensuado, De hecho, a través de la Comisión Internacional de Unidades y Medidas de Radiación (ICRU), desde sus inicios en 1925 y en cooperación con la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), se desarrollaban internacionalmente, las “magnitudes y unidades de radiación y radiactividad”<sup>22</sup> para establecer medidas acorde a tratamientos, en radiología y radiobiología clínica.

Entre tanto, el “rato” del yeso, medida ajena a la norma, permanecía dispar entre médicos y físicos.

Acaso el consenso intersubjetivo, como se dice por ahí, implica un lento logro y desafío en la comunicación humana.

## **Reconocer y rememorar**

La OIEA (Organismo Internacional de Energía Atómica), foro mundial de cooperación científica y técnica en la esfera nuclear, reconoce al laboratorio especializado de Argentina desde la década del 60:

*Desde 1969, la OMS (Organización Mundial de la Salud) ha designado como LDPS (Laboratory developed testing procedures) a nueve laboratorios de Argentina, Brasil, India, Irán, México, Nigeria, Rumania, Singapur y Tailandia.*

*En otros países, como Bulgaria, Chile, Filipinas, Indonesia, Israel y Turquía, se están creando sendos LDPS dentro del marco de proyectos de asistencia técnica del OIEA.*

*En algunos países los laboratorios dependen del Ministerio de Sanidad y en otros de la Comisión de Energía Atómica; una razón más para que en este proyecto colaboren estrechamente el OIEA y la OMS.*

Red de Laboratorios de Dosimetría con Patrones Secundarios;

autor Horst H. Eisenlhor

Boletín de IAEA IAEA<sup>23</sup>

Es conocida la relación con profesionales de la medicina y la ingeniería en un logro como el mencionado y el desenvolvimiento nacional de la Física Médica en general. Resultó y resulta crucial para la historia, el desarrollo y la evolución, su relación con otros profesionales y disciplinas.

A riesgo de omitir nombres, cabe citar a educadores con foco en las capacitaciones y a diferentes profesionales de distintos campos (tecnología, biología, educación...) que cotidianamente contribuyeron a la formación y al reconocimiento de la física médica. Algunos ya no están. Otros se benefician hoy, de un merecido retiro. Por ejemplo: Elisa Singer, Victoria Míguez, Ricardo Moll, Margarita Saraví, Clemente Ortigueira, Susana Blanco, Celso y Susana Papadopulos, Pablo Gisone, José Mayo, Diana Dubner, Eduardo Barrios, Alejandro Placer, Aristóbulo Gómez, Mónica Brunetto y tantas y tantos más.

Como figura clave en esta historia, merece un recordatorio el Dr. José Mayo que en 1955 ingresara al Departamento de Medicina y Biología de la CNEA, para aportar su riguroso conocimiento del daño biológico por radiación.

Sus antecedentes sobre el tema, lo llevaron a liderar en la CNEA, esa tarea crucial. Entrerriano, nacido en 1924, llegó a la CNEA habiendo realizado (de 1953 a 1955) estudios de post grado en radioterapia y aplicación de radioisótopos en la Universidad de Manchester, en la Comisión de Energía Atómica de Inglaterra y en la Fundación Curie de Francia.

Desde entonces, se dedicó a realizar investigación básica, docencia y formación, tanto en la CNEA como en la Universidad de Buenos Aires (UBA). De 1962 a 1986 fue Jefe de la División Efectos Somáticos de las Radiaciones Ionizantes, y de 1986 a 1991 fue Jefe del Departamento de Radiobiología.

Hasta su muerte, el 27 de febrero del 2009, se lo veía casi a diario en la CNEA, en seminarios, dialogando con colegas y sobre todo preocupándose por la marcha y el futuro de cada estudiante y, como lo recuerda un colega, "por el destino de su tan querida Radiobiología, a la que le dedicó tantos esfuerzos". Sus publicaciones y trayectoria lo hicieron merecedor de premios prestigiosos como Anual de SAFE en 1987. Quienes le dedican un recordatorio señalan que lega su labor y la responsabilidad de seguir su ejemplo de persona honorable, de tenacidad, capacidad de trabajo y mesura

## **Mención adicional y especial**

Además de recordar a quienes sumaron aportes cruciales desde diversos campos, merecen una mención adicional y especial los técnicos de física o dosimetrías y los técnicos de sala. Frecuentemente, tienen a su cargo las medidas y controles, preparación de dosimetrías y, en sala, la ejecución cotidiana de tratamientos. En ocasiones, ejercen todas estas actividades a la vez.

Son un pilar para los médicos al tener en sala el contacto directo con pacientes, que les depositan su confianza y son sustento de los físicos al realizar tareas que determinan la calidad de los cálculos y medidas. Cabe reconocer su quehacer y acaso anotar, como cuestión pendiente, narrar la historia de sus profesiones y actividades.

## La *diáspora* argentina

Diáspora, del griego antiguo “dispersión”, es el término con que cabe describir ese fenómeno que, como en tantos países y comunidades, por razones políticas, económicas o personales, redundaba también en la física médica argentina, con sus aspectos negativos y positivos. Negativos, como la pérdida de profesionales y positivos, como el establecimiento de una red cooperativa, de intercambios de conocimiento.

Cabe mencionar, entre diversos casos, a físicos médicos argentinos como Alejandro Mazal de Misiones; Carolina Fuentes de San Juan; Cesar Della Bianca, de Córdoba; Paola Álvarez y Sandra Cáneva, de Buenos Aires; Gustavo Olivera, de Rosario y Daniel Galmarini, de La Plata.

Alejandro Mazal, ingeniero y físico médico, luego de trabajar en la Academia de Medicina de Buenos Aires, estudió y trabajó en París, Francia, llegando a ser jefe del servicio de Física Médica del Instituto Curie. Cuenta con una centena de publicaciones, y recientemente montó el primer centro de protonterapia en Madrid, España, del grupo Quironsalud. También Sandra Cáneva, de Buenos Aires, se trasladó a Francia y tras doctorarse, trabajó en la industria vinculada a la Física Médica, dedicada a equipos de radioterapia. Es actualmente, física del Instituto Curie de París.

Paola Álvarez, física egresada de Ciencias Exactas de la Universidad de Buenos Aires, trabajó en Argentina en el Laboratorio Secundario con Margarita Saraví, y hace muchos años en el M. D. Anderson. Se desempeñó en programas de garantía de calidad. Concurrió a reuniones y congresos en nuestro país, compartiendo su profunda experiencia en fantomas y diversos tipos de detección.

César Della Bianca, con estudios en Córdoba y formado en CNEA de Buenos Aires, se doctoró con la Doctora Doracy Fontenla en Montefiori, NY, USA.

Actualmente es físico médico en una de las instituciones de mayor prestigio en el campo, el Memorial Sloan Kettering Cancer Center, NY, USA.

Carolina Fuentes, estudió en Argentina y reconoce a Mariana Levi de Cabrejas como su mentora, al punto de incluirla en su currículum y dedicarle cálidas palabras al recordarla. Carolina prosiguió su formación en Suiza y Alemania.

Gustavo Olivera, de la Universidad de Rosario, tras pasar por Francia, estuvo a cargo del desarrollo científico de unidades de Tomoterapia desde Wisconsin, USA, y es ejecutivo en tecnología de salud, contando con centenas de publicaciones de primer nivel.

Estuvo a cargo de productos en desarrollo en la administración de Soluciones Clínicas (Clinical Solutions Manager), se ha desempeñado en la sociedad Ion Beam Applications (IBA) en Bélgica y respalda a investigadores de su campo.

Daniel Galmarini, tras desempeñarse en Buenos Aires y La Plata entre los pioneros de la radiocirugía con aceleradores lineales (linacs), se encargó hasta 2015 de la dirección de física médica de un elevado número de clínicas privadas en Estados Unidos y América Latina, incluyendo el trabajo de un grupo de físicos médicos argentinos a cargo de una producción clínica.

Yakov Pipman se formó en el exterior: pasó por el Technion de Israel, el Memorial Sloan Kettering de Nueva York y ejerció en Estados Unidos, para desempeñarse en

el programa científico de intercambio de la Asociación Americana de Física Médica. Cuenta con más de una centena de publicaciones científicas.

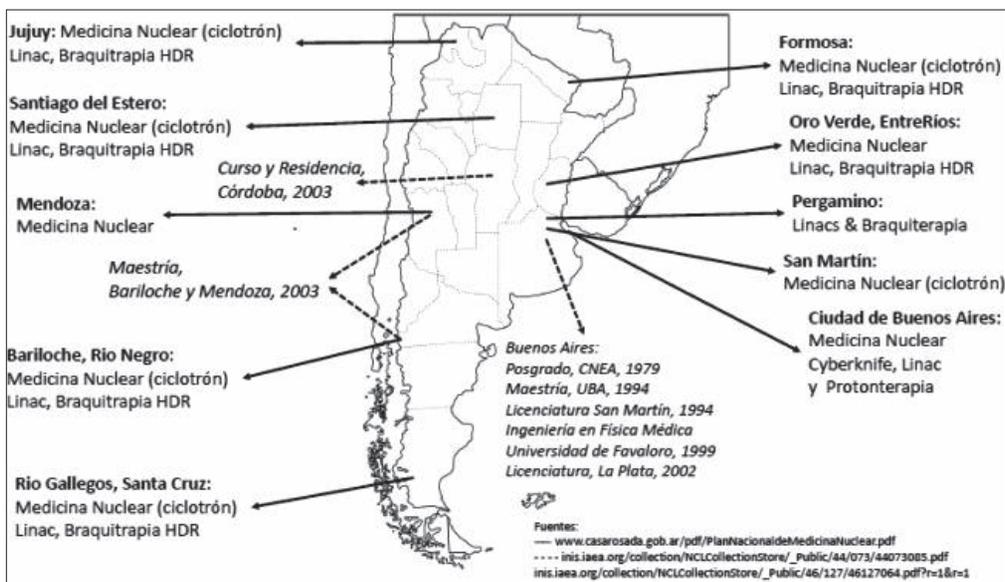
## Formación internacional y “exportación” de la formación argentina

El historial en Física Médica de cada país, comparte hitos en la renovación de regulaciones y de la correspondiente formación, establecidas y consolidadas en el mundo, con aval del Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA)<sup>24</sup>. Incidieron tanto las innovaciones en tecnología como las “lecciones aprendidas” de accidentes fatales, provocados por medidas erróneas o de cálculo.

Accidentes gravitantes sobre un número significativo de afectados.

Como el de 1984, en Ciudad Juárez (México); el de 1987, en Goiania (Brasil); el de 1990, en Zaragoza (España); el de 2001, en Bialystok (Polonia) o el del 2006, en Epinal (Francia).

De hecho, se vinculan innovaciones y riesgo: es peligrosa la puesta en marcha de nuevas tecnologías sin el esfuerzo acorde entre la educación, la formación y el programa de control de calidad. El consenso hace viable, incluso necesaria, la formación internacional en física médica. En Argentina en particular, se forman profesionales que ejercen en la región. Como refiere en 2016 la Asociación Colombiana de Física Médica y Protección Radiológica, once de sus profesionales se formaron en Argentina. A profesionales de Argentina, por su experiencia y trayectoria, se los convoca para dictar clases y/o conferencias en cursos regionales organizados por OIEA y en diversas universidades. El “mapa”, tal como se indica en el epígrafe de la figura, señala los centros del Plan Nacional de Medicina Nuclear y Radioterapia, y los diversos centros de formación.



La línea llena señala las instalaciones del Plan Nacional de Medicina Nuclear y Radioterapia (completadas, en proceso o planificadas). En líneas de puntos e itálica, las capacitaciones y carreras de formación en Física Médica (licenciaturas, maestrías, prácticas)

A lo largo de nuestro país, surgieron formaciones con incumbencia de universidades e instituciones para las residencias, listadas tal como se le comunican a la IOMP.

Universidad	Ubicación y Sitio web		Formación
Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales	Pabellón I Ciudad Universitaria. Ciudad de Buenos Aires Departamento de Física <a href="http://www.df.uba.ar/en/academica/36-maestria-en-fisica-medica">www.df.uba.ar/en/academica/36-maestria-en-fisica-medica</a>		M.Sc. in Medical Physics
Universidad Nacional General San Martín (UNSAM) - Escuela de Ciencia y Tecnología	Campus Miguelete, San Martín, Provincia de Buenos Aires <a href="http://www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/13/ciencia/fisica-medica">www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/13/ciencia/fisica-medica</a> <a href="http://www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/300/ciencia/fisica-medicina-nuclear">www.unsam.edu.ar/escuelas/ciencia/300/ciencia/fisica-medicina-nuclear</a>		BSc. Medical Physics Postgraduate Specialist in Physics of Nuclear Medicine
Universidad Nacional de La Plata Facultad de Ciencias Exactas	Calle 115 y 47 La Plata – Provincia de Buenos Aires <a href="http://www.exactas.unlp.edu.ar/licenciatura_en_fisica_medica">http://www.exactas.unlp.edu.ar/licenciatura_en_fisica_medica</a>		BSc. Medical Physics
Universidad Favaloro Facultad de Ciencias Exactas y Naturales	Sarmiento 1853, Ciudad de Buenos Aires <a href="https://www.favaloro.edu.ar/ingenieria-en-fisica-medica/">https://www.favaloro.edu.ar/ingenieria-en-fisica-medica/</a>		Medical Physics Engineering,
Instituto Balseiro Fundación Escuela de Medicina Nuclear	Av. E. Bustillo km 9,5 San Carlos de Bariloche - Río Negro <a href="http://www.ib.edu.ar/academicas/maestria-en-fisica-medica.html">www.ib.edu.ar/academicas/maestria-en-fisica-medica.html</a>		M.Sc. in Medical Physics
CNEA - Instituto Dan Beninson UNSAM	Av. San Martín 5481 Ciudad de Buenos Aires <a href="http://www.unsam.edu.ar/institutos/danbeninson/607/dan-beninson/fisica-radioterapia">http://www.unsam.edu.ar/institutos/danbeninson/607/dan-beninson/fisica-radioterapia</a>		Postgraduate Specialist in Physics of Radiotherapy
Instituto Oncológico Ángel H Roffo - Facultad de Medicina Universidad de Buenos Aires	Av. San Martín 5481, Ciudad de Buenos Aires <a href="https://www.fmed.uba.ar">https://www.fmed.uba.ar</a>		Residence/Fellow in Clinical Practice for Physics in Radiotherapy and Nuclear Medicine
Fundación Médica de Río Negro y Neuquén (FUNMED)	COI Centro Oncológico Integral Industriales Neuquinos 2800, Neuquén <a href="https://www.lebensalud.com.ar/">https://www.lebensalud.com.ar/</a>		Residence/Fellow in Clinical Practice in Physics for Radiotherapy and Nuclear Medicine
Instituto Zunino Fundación Marie Curie-	Obispo Oro 423 · Nueva Córdoba - Av. Duarte Quirós, Las Palmas Córdoba	<a href="https://www.institutozunino.org/educacion_posgrado_capacitacion/4/practica-de-fisica-medica-en-radioterapia">https://www.institutozunino.org/educacion_posgrado_capacitacion/4/practica-de-fisica-medica-en-radioterapia</a>	Clinical Practice for Radiotherapy Physics Specialist
Hospital Oncológico Dr. Urrutia	Bajada Pucará 1900, Pje. Arribeños Córdoba	<a href="https://www.hospitales.argentina.crigu.com/hospital-oncologico-dr-urrutia-cordoba/">https://www.hospitales.argentina.crigu.com/hospital-oncologico-dr-urrutia-cordoba/</a>	Clinical Practice for Radiotherapy Physics Specialist

Cabe mencionar, ampliando el panorama, los aportes de equipos conformados por Investigadores de doble pertenencia.

Pertenencia al Centro Científico Tecnológico del CONICET (Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas) y a diversas universidades nacionales con facultades, institutos o departamentos de Física.

Por ejemplo:

- el Instituto de Física de Rosario (FIR) de la Universidad Nacional de Rosario. El FIR se dedica a la investigación y desarrollo en múltiples aspectos de la física y, en particular, en física atómica, física médica y específicamente, en radiobiología<sup>25</sup>
- el Instituto de Física Enrique Gaviola (IFEG) de doble pertenencia (CONICET-UNC), incorporado al Centro Científico Tecnológico Córdoba, desarrolla actividades en la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación (FAMAF) de la Universidad Nacional de Córdoba (UNC). Entre sus grupos de investigación, el de Física Médica (con el investigador Mauro Valente dedicado al tema "Interacción de la radiación con la materia"), publica activamente<sup>26</sup> en relación a dedicaciones a investigación<sup>27</sup>, docencia y formación a nivel de grado y posgrado. De hecho, la FAMAF tiene, con el Instituto Privado de Radioterapia, un convenio de pasantías de un año para estudiantes de la Licenciatura en Física, bajo la dirección del Dr. Daniel Venencia. Está en tramitación un proyecto de carrera, "Especialización en Física de la Radiocirugía", a dictarse, precisamente, en la FAMAF con intervención de este mismo instituto.

Como cifras significativas relacionadas con la actividad e instalaciones vinculadas a la física médica en Argentina, un registro actual estima de entre 140 y 150 profesionales con autorización para ejercer en Física Médica en el medio clínico; además están quienes se dedican a la investigación y quienes se desempeñan en empresas.

Según registra el índice DIRAC de la IAEA (International Atomic Energy Agency), en el país se cuenta con un conjunto de equipos de tratamiento, repartidos en 95 centros: hay 132 de alta energía, 8 de baja energía y hay 44 unidades de braquiterapia.

## ¿Y el futuro ?

### **De aquellos inicios al Centro Argentino de Protonterapia**

La hadronterapia es una modalidad de radioterapia vía hadrones (protones, neutrones, partículas alfa, núcleos livianos), de las que la protonterapia es la más en auge actualmente.

Comenzó en la década de 1950 como actividad paralela en los centros de investigación de física de partículas.

A fines de 1970, las mejoras en tecnología de aceleradores, con el advenimiento de los ciclotrones y sincrotrones de altas energías, junto a los avances en imagenología médica e informática, hicieron que la terapia con protones fuera una opción viable.

A principios de 1990, las instalaciones de protones fueron por primera vez establecidas en entornos clínicos, en el primer centro en la Universidad de Loma Linda, California, en Estados Unidos.

Existen 109 centros de protones e iones de carbono en operación en el mundo: 37 en construcción en el hemisferio norte y 22 en etapa de planificación, incluyendo uno en Australia.

La protonterapia, considerada una de las formas más avanzada de radioterapia, emplea “haces de protones” cuya particularidad es que dejan la mayor parte de su energía en el tumor irradiado, deteniéndose en forma controlada luego de cubrir el tumor, preservando así los tejidos sanos adyacentes. La reducción de efectos secundarios sobre tejidos sanos redundará en una mejor calidad de vida de los pacientes y es por eso un tratamiento especialmente adecuado para tratar a niños y niñas.

La Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) en acuerdo con la Universidad Nacional de Buenos Aires (UBA) está construyendo en el barrio de Agronomía, el Centro Argentino de Protonterapia (CeArP). El CeArP será el primero de estas características en la Argentina y toda Latinoamérica.

La obra, cuenta con el apoyo de la empresa rionegrina INVAP. En la primera etapa, se construirá y completará el sector de radioterapia convencional de última generación, incluyendo un acelerador robotizado, y otro de alta definición, permitiendo tratamientos de radiocirugía, así como equipo de diagnóstico (tomógrafo de doble energía, resonancia magnética,) y de cálculo de los tratamientos.

El CeArP incluirá, además, el Laboratorio de Investigación y Desarrollo en Protonterapia (Laidep), destinado a promover actividades de investigación, desarrollo y formación. A tal fin, contará con la sala de haz independiente, idéntico al empleado con pacientes, permitiendo la óptima ejercitación.

## **Desarrollo del Plan Nacional de Medicina Nuclear y de Radioterapia**

“NUCLEOVIDA”, así se lo llama al Plan Nacional de Medicina Nuclear cuyo propósito se centra en dotar a la Argentina de las herramientas de la actividad nuclear para la prevención, control y tratamiento de enfermedades crónicas no transmisibles, propulsando la investigación aplicada y transferencia tecnológica y la promoción del talento humano, según se desprende de la lectura de la página correspondiente<sup>28</sup>.

## **Saltos generacionales**

El desenvolvimiento de la física médica se vincula a los avances en tecnología, biología y clínica, en recíproca contribución activa. En anteriores décadas, en el dominio de la radioterapia se producían “saltos generacionales” cada veinte años o más, pero actualmente la frecuencia promedio es de unos cinco años.

En tecnología, las combinaciones de acelerador lineal y resonancia magnética reemplazan a dispositivos “recientes” de radioterapia externa, como la Tomoterapia (de mecanismo rotatorio) y el Cyberknife (de funcionamiento robotizado). El dominio cibernético se aplica tanto al manejo de datos masivos como al análisis de imágenes con técnicas de radiomics (proceso que transforma imágenes médicas en datos

cuantitativos) y la inteligencia artificial se vincula a las más diversas cuestiones imaginables.

En biología, en paralelo con los conocimientos sobre el genoma, se desarrollan técnicas de irradiación con tratamientos completos de menos de un segundo de duración ("FLASH") según una hipótesis, de verificación en curso, según la cual, el efecto antitumoral sería el mismo, con mayor protección de los tejidos sanos.

En clínica, se profundizan los efectos bystander (efectos en cercanía de una zona irradiada), abscopales (a distancia de la zona irradiada) y, en forma general, la acción combinada de irradiación e inmunología.

Esto aparece plasmado en múltiples iniciativas en marcha, además de las centradas en protonterapia.

Cabe destacar, al respecto:

- la CNEA desarrolla tecnología para BNCT (Boron Neutron Capture Therapy) en su sitio del Tandem (equipo de Andrés Kreiner), en contacto directo con la Universidad Nacional de San Martín (con Alejandro Valda como referente);
- el grupo de BNCT, dirigido por Gustavo Santa Cruz, ya lleva una decena de irradiaciones en el reactor de Bariloche. Precisamente, el grupo de BNCT es un claro ejemplo de trabajo multidisciplinario: está conformado por físicos, biólogos, químicos, médicos y sus integrantes han desarrollado tesis de grado, de maestría y hasta de doctorado.
- la Universidad Favaloro, que ofrece una carrera de Ingeniería en Física Médica dirigida por Rubén Farías, auspició, en 2010 en Buenos Aires, la Conferencia Internacional de Ingeniería en Medicina y Biología enfocada a temas de física médica como el análisis de imágenes, la bio-informática y los sistemas de tratamiento;
- el Instituto de Física de Rosario (IFR), un laboratorio del CONICET, da cabida al quehacer del equipo de Mariel Galassi en relación a modelos de deposición de energía de radiaciones ionizantes y efectos biológicos inducidos.

## **¿A modo de conclusión?**

La historia, los personajes y las anécdotas sobre la Física Médica en Argentina no difieren de lo que se encuentra en el resto del mundo en la profesión y a su vez, son específicas en nuestro contexto e idiosincrasia.

Son testimonios de esfuerzos, alegrías y sinsabores, de reconocimiento a los maestros y de satisfacción, valorando lo realizado.

Se puede destacar el nivel de formación argentino, internacionalmente acreditado: aquí se forman profesionales de otros países, se realizan avances y se producen tratamientos de calidad, se mantienen contactos con laboratorios e instituciones internacionales de primer nivel.

En efecto, aunque los medios disponibles no sean equivalentes a los de países de alto desarrollo, las iniciativas personales y/o institucionales colocan a la Argentina como ejemplo y líder en el mundo, en este dominio.

Es esperado consenso que, en Argentina, profesionales e instituciones de la física médica asuman un rol activo respecto de las innovaciones, involucrándose con un entusiasmo que incluso expanda sus posibilidades; que puedan y deban desplegar esa responsabilidad con el nivel que les es reconocido.

Los avances en física médica están íntimamente ligados a cambios tecnológicos, Incluso los originan tales cambios, con sus saltos evolutivos cada vez más frecuentes, en asociación con laboratorios y con la industria, con potenciales intereses convergentes. Precisamente es la física médica, en su quehacer multidisciplinar, responsable de superar una dinámica tecnológica estrecha (o eventualmente, voraz): la comprensión de los fenómenos biológicos, en la base de los resultados clínicos, requieren un abordaje plural, redescubriendo ente otras especialidades la radiobiología y la química bajo radiaciones, aplicando herramientas de inteligencia artificial, con consciencia de la necesaria protección del medio ambiente y acorde a la realidad social.

Más allá de la adecuación a estos paradigmas emergentes y justamente por todo lo que promueven, es crucial sustentar las motivaciones esenciales de la profesión: el humanismo y la ética (en particular, la bioética), manifestados a través de la empatía y la dedicación a los pacientes, compartiendo sus esperanzas en una lucha cotidiana por su vida y su calidad de vida.

## Agradecimientos finales

Cabe culminar con un profundo agradecimiento a todos los que sumaron fotos, anécdotas, recuerdos, sugerencias, correcciones y en particular a quienes brindaron su dedicación sostenida en esta historia de la Física Médica: Diana Feld y Alejandro Mazal.

## Referencias

- 1 El evento es anual. Por ejemplo, en 2017 se celebraron las XXXII Jornadas Interdisciplinarias. Cada año se selecciona un tema central. El capítulo de Física Médica se incorporó hace aproximadamente una década (2011). Presenta trabajos, más allá de profesionales del Roffo, todo quien se dedique a temas vinculados a oncología.
- 2 Fuente (disponible al 1 de septiembre del 2021): <https://institutoroffo.uba.ar/historia/>
- 3 Según información de la Orden del Día de la Cámara de Diputados de la Nación, desde su Comisión de Ciencia y Tecnología (impreso el día 16 de mayo de 2001), término del artículo 113, 28 de mayo de 2001 disponible al 1 de septiembre del 2021 en <https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dcomisiones/periodo-118/118-1978.pdf>
- 4 Las características de lo instalado se detalla en la sección “Área de equipamiento médico y científico” del capítulo dedicado al INVAP de la “Enciclopedia de ciencias y tecnologías en Argentina” disponible al 1 de septiembre del 2021 en <https://cyt-ar.com.ar/cyt-ar/index.php/INVAP>

- 5 Fuente (disponible al 1 de septiembre del 2021): [http://www.clarin.com/sociedad/vista-aniversario\\_0\\_454754643.html](http://www.clarin.com/sociedad/vista-aniversario_0_454754643.html)
- 6 Ver “Formación académica y entrenamiento en Física Médica en la República Argentina” (Mairal L., Sansogne R. et al) Disponible al 4 de septiembre de 2021 en: [https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/46/127/46127064.pdf?r=1&r=1](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/46/127/46127064.pdf?r=1&r=1)
- 7 Fuente: página del Instituto de Tecnología Nuclear Dan Beninson (IDB) <https://ibeninson.cnea.edu.ar/>, disponible al 4 de septiembre de 2021.
- 8 Fuente: la página de Sociedad Argentina de Física Médica (SAFIM): [www.safim.org.ar](http://www.safim.org.ar) y su enlace, disponible al 4 de septiembre de 2021, <https://www.safim.org/new/index.php> así como el Facebook de SAFIM
- 9 En su homenaje, la Sociedad Argentina de Radioprotección (SAR), dio su nombre a un premio a la tarea regulatoria en el área de seguridad radiológica, que se adjudica cada cuatro años. Referencia: <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:CDTJX7ANrpYJ:www.apcnean.org.ar/arch/eb983d5e37344bfc7cad10d17f2c339f.pdf+&cd=5&hl=es-419&ct=clnk&gl=ar> disponible al 4 de septiembre de 2021
- 10 Entre sus docentes, pueden mencionarse a: Ing. Mugliaroli, Ing. González, Dr. Mayo, Lic. Margarita Saraví, Lic. Diana Feld, Ing. Arbor González, Ing. C. Arias, Ing. Sánchez.
- 11 La ICRU es la International Commission on Radiation Units and Measurements.
- 12 Fuente (disponible al 1 de septiembre del 2021): la página de la Sociedad Argentina de Radioprotección <https://radioproteccionsar.org.ar/noticias/in-memori-am-de-la-lic-mariana-levi-de-cabrejas/>
- 13 Ver “Historia de la Sociedad Argentina de Radioprotección 1965 – 2018” disponible al 4 de septiembre del 2021 en [https://radioproteccionsar.org.ar/downloads/historia\\_sar.pdf](https://radioproteccionsar.org.ar/downloads/historia_sar.pdf)
- 14 Disponible al 4 de septiembre del 2021 en: <https://www.foroiberam.org/documents/193375/199940/%E2%80%9CInstrumentaci%C3%B3n+para+dosimetr%C3%ADa%E2%80%9D%20/50f991b9-1104-4947-8d00-b5636182bc62?version=1.0>
- 15 <https://www.argentina.gob.ar/noticias/pesar-por-el-fallecimiento-del-ing-hugo-mugliaroli>, disponible al 7 de septiembre de 2021).
- 16 Referencia: <https://aeib.org.ar/premio-bernaola/>, disponible al 7 de septiembre de 2021).
- 17 El Dr. Eduardo Barrios hizo un primer año de física antes de pasar a medicina (UBA); fue radioterapeuta en el Hospital Curie (jefe de servicio), en el Garrahan y en el Vidt (centro médico). Decidió a sabiendas dictar clases, hasta al final de su vida, en el curso Dosimetría en Radioterapia, a tal punto disfrutaba de su vocación docente, contagiando pasión por la profesión.
- 18 Esto se documenta en “Estudio experimental sobre distribución de dosis en volumen mamario y territorios ganglionares, en fantoma de cera con fotones de Co-60 y 6 Mev”, C. López, E. Singer, D. Feld, J. Méndez, I Congreso de la Soc. Arg. de Radioterapia, Radiobiología y Física de la Radioterapia (SARRF), 1986 y se profundiza en un trabajo premiado en 1990, “Dificultades y errores en la irradiación del volumen mamario y lecho operatorio” en las II Jornadas Inter-hospitalarias del Centro de la Ciudad de Buenos Aires.
- 19 Análisis de técnicas de radioterapia conformada para irradiación de superficies geométricas de poca profundidad de Singer, Elisa (1999) Tesis presentada para obtener el grado de Magister en el área de Física Médica (UBA). Disponible al 22 de agosto del 2021 en el correspondiente repositorio: [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n3251\\_Singer.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3251_Singer.pdf)
- 20 Fuente de referencia (disponible al 1 de septiembre del 2021): <https://nuclaus.iaea.org/sites/accelerators/TMBNCT/Document%20Backup/TM%20BNCT%20Book%20of%20Abstracts.pdf> y Actas del congreso virtual 2020 “Virtual Technical Meeting on Advances in Boron Neutron Capture Therapy”, IAEA, Vienna, July 2020, uno de los trabajos presentados fue “In vivo dosimetry for BNCT treatment Argentine trials”, de Boggio, Casal, Longhino, Feld.
- 21 A la serie de entrevistas se accede desde esa sección del Instituto Balseiro, a su repositorio desde su espacio y al de la CNEA en su sector, disponibles al 17 de agosto del 2021.

- 22 Fuente ICRU REPORT 50 disponible al 18 de agosto de 2021 en [https://socios.sefm.es/psefm/1999\\_ICRU-50.pdf](https://socios.sefm.es/psefm/1999_ICRU-50.pdf)
- 23 Bulletin, Volumen 19, N° 2, April 1977 Disponible al 1 de septiembre de 2021 en <https://www.iaea.org/bulletin/19-2>
- 24 Fuente Criterios para la formación en física médica, entrenamiento clínico y certificación según el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) Disponible al 20 de agosto de 2021 en [https://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1424\\_S\\_web.pdf](https://www.pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/P1424_S_web.pdf)
- 25 Referencia disponible al 2 de septiembre de 2021 en <https://ri.conicet.gov.ar/autor/4657>
- 26 Valgan como ejemplos, el artículo del 2019 -Assessment of FLUKA, PENELOPE and MCNP6 Monte Carlo codes for estimating gold fluorescence applied to the detection of gold-infused tumoral volumes- de autoría de Federico Geser et al y la publicación "Trajectory control of electron beams using high intensity permanent magnets for linac-adaptable convergent beam radiotherapy" de R.G.Figueroa, L.Rojas y M.Valente, del mismo año,  
Referencias: disponibles al 2 de septiembre de 2021 en [https://www.conicet.gov.ar/new\\_scp/detalle.php?keywords=&id=20353&inst=yes&articulos=yes&detalles=yes&art\\_id=9053240](https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=20353&inst=yes&articulos=yes&detalles=yes&art_id=9053240) y <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0969804319301617> respectivamente
- 27 El título de una línea de investigación, a cargo del Dr. Mauro Valente, es "Investigación en modelos físicos de transporte de radiación para aplicaciones en física médica: avances, comparación y validación de sistemas de cálculo dosimétrico para tratamientos de medicina nuclear" Referencia disponible al 25 de septiembre de 2021 en [https://www.conicet.gov.ar/new\\_scp/detalle.php?id=34110&datos\\_academicos=yes](https://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?id=34110&datos_academicos=yes)
- 28 Fuentes: <https://www.casarsada.gob.ar/pdf/PlanNacionaldeMedicinaNuclear.pdf> y <https://www.argentina.gob.ar/cnea/centro-argentino-de-protonterapia> disponibles al 4 de septiembre de 2021

**Otras referencias:** Seminario Web a cargo del Dr. Gustavo A. Santa Cruz, Gerente de Investigación y Desarrollo en Aplicaciones Nucleares a la Salud de la Comisión Nacional de Energía Atómica. En el Seminario Web se describe la ciencia de los haces clínicos de protones y su inserción en el país. Se presentó el proyecto Centro Argentino de Protonterapia, sus características, infraestructura, perspectivas clínicas y científicas y su proyección a nivel regional. [www.facebook.com/cafevradaciones](https://www.facebook.com/cafevradaciones) disponible al 4 de septiembre de 2021

## Capítulo VIII

### La Geofísica (o Física de la Tierra) Argentina tiene su historia

Liliana Saidon

Programa Universitario de Apoyo Socioeducativo en espacios  
comunitarios (UBA) - Docente Invitada en la Cátedra CALISA de la  
Facultad de Agronomía (UBA) - Ingeniera Asesora Plataforma por  
Derecho a la Ciudad (UBA)

#### Geofísica desde los remotos tiempos de Eratóstenes

*If I have seen further it is only by standing on the shoulders of Giants.  
Si he visto más lejos es solo por estar parado a hombros de Gigantes.*

Isaac Newton (1675)

Diversos gigantes «auparon» a Sir Isaac. Los planteos matemáticos de Newton no surgieron solo como consecuencia del cálculo diferencial e integral que desarrolló en paralelo con el alemán Gottfried Leibniz. Ni surgieron espontáneamente de la célebre manzana que vio caer y lo dejó pensativo. Sus planteos fueron el brillante corolario de una tarea de muchos estudiosos de numerosas culturas a lo largo de generaciones. Entre los grandes científicos que lo precedieron, nacido dos milenios antes, el 276 a.C., trascendió Eratóstenes de Cirene por calcular, con error “menor”, el radio de la Tierra (asumiéndola esférica); la inclinación del eje terrestre y la distancia al Sol. Se basó en la diferencia de sombra proyectada al mediodía del 21 de junio (solsticio de verano, día con el sol más vertical y más horas de luz) cuando en los jardines de la Universidad de Alejandría (norte del actual Egipto) una vara proyectaba una sombra de 7,2° y en Syene (hoy, Asuán) el ángulo era de casi 0°, los obeliscos no daban sombra y ese único día se iluminaba el agua del fondo de los pozos.

Syene dista 41 km del paralelo del trópico de Cáncer, de latitud de valor angular coincidente con la inclinación del eje terrestre respecto al plano de la órbita en torno al Sol. Eratóstenes tomó la distancia referida por las caravanas entre las dos ciudades, unos 5.000 estadios en rumbo casi norte-sur. Un estadio griego se aproxima a 185 m, lo que resulta unos 925 km en nuestro patrón actual, aunque el valor preciso es de 843 km. Si a 7,2° correspondían 5.000 estadios, 360° daban 250.000 estadios de circunferencia, o sea 46.250 km. Con toda nuestra tecnología y sabiendo que la Tierra es una esfera aplastada a lo largo de su eje de giro, hoy medimos 40.009 km pasando por los polos y 40.076 km alrededor del Ecuador.

Eratósthènes, sin saberlo, le puso el hombro a Newton con esa primera mensura planetaria, hombro sobre el que dos milenios después se habría de edificar la **ciencia geofísica**.

## Geofísica... ¿arte “telúrico” o reciente ciencia tan pura como aplicada?

*“Pachamama sumaj mama ¡Kusilla!” [“Madre Tierra, buena madre, ¡sé propicia!”]  
Invocación Quechua (ancestral) a la Pachamama, la Madre Tierra*

Habrán quienes planteen, que la geofísica es...

*... el arte de aplicar la física y matemática al estudio de la Tierra, ya sea de todo lo que influye desde su interior como desde su exterior.*

Quizá sorprenda esto del “arte”, aun coincidiendo con la definición que ya mediando el siglo XX compartiera Louis Cagniard, el profesor de la facultad de ciencias de París en su «Introduction à la physique du globe». Acaso nos sonará más riguroso señalar que es...

*la ciencia que estudia los fenómenos físicos producidos en nuestro planeta, como el electromagnetismo, la propagación de ondas mecánicas en su corteza y la gravedad.*

## ¿Arte versus ciencia?

El *arte* sugiere creatividad y la palabra proviene del latín *ars, artis* (cuya raíz indoeuropea -ar significa ajustar, hacer o colocar) significando ‘habilidad’, ‘profesión’, mientras *ciencia* deriva de *scientia*, “conjunto de conocimientos surgidos de la observación y el razonamiento, sistemáticamente estructurados y de los que se deducen principios comprobables experimentalmente” -al menos, según la RAE (Real Academia Española)-. De todas formas, como veremos en otro capítulo de este libro, el arte y la ciencia pueden encontrarse estrechamente relacionados.

## ¿Rama de la física o acaso de la geología?

Surge otra disyuntiva cuando se amplía la definición señalando que la geofísica es...

*... la aplicación de la física y la geología al estudio de los materiales que componen la corteza y de los campos de fuerza terrestres que ejercen su influencia hacia el exterior.*

Entonces, ¿la geofísica es rama de la geología o de la física, como en la inicial definición? En principio, geología y geofísica, abordan el mismo objeto, el planeta Tierra y en particular, la geofísica, como la definimos, estudia e interpreta respuestas, según teorías físicas y matemáticas, con instrumental acorde. Apela a instrumentos que colectan señales o información de ondas acústicas, electricidad, magnetismo, electromagnetismo, gravedad, temperatura... Si el quehacer es de **prospección** geofísica, estas “respuestas” deben integrarse al contexto: a la historia geológica en la

zona y a la escala de estudio para mejorar y hasta modificar las hipótesis geológicas en juego.

En síntesis, podemos definir la Geofísica como...

*la ciencia que estudia a la Tierra desde el punto de vista de fenómenos físicos desarrollados en su parte sólida, en sus mares y en su envoltura gaseosa, procurando entender el funcionamiento del planeta en la actualidad y en su pasado remoto.*

Todos los procesos y estructuras localizadas desde el centro de la Tierra, hasta el límite exterior de la magnetósfera, son su objeto de estudio. La propia Tierra es el laboratorio principal en el que se realizan observaciones y al que se aplican las teorías científicas.

## **Hablando de prospección y de sus métodos**

Deslizamos al pasar la *prospección* geofísica y vale buscarle una definición. Si se la plantea como el conjunto de **técnicas** físicas y matemáticas aplicadas a la exploración del subsuelo para la búsqueda y estudio de yacimientos de sustancias útiles (petróleo, aguas subterráneas, minerales, carbón, etc.) por medio de observaciones efectuadas en la Tierra, se podría intentar otra definición.

Sería...

*... la rama de la física aplicada que estudia estructuras ocultas para localizar allí cuerpos delimitados a partir de observaciones en la superficie o interior de la Tierra, distinguiendo ciertas propiedades físicas contrastantes con las del medio circundante,*

Para este quehacer, se cuenta con cuatro grandes grupos de métodos de prospección...

- sísmicos, determinan velocidades de ondas acústicas midiendo su tiempo de tránsito
- eléctricos, para determinar, desde mediciones de campos eléctricos o electromagnéticos, la distribución en el subsuelo de alguna propiedad electromagnética (sea la permeabilidad magnética, la permitividad eléctrica o la resistividad eléctrica)
- gravimétricos, para determinar, midiendo la aceleración de gravedad, la distribución de densidades
- de magnetometría, para determinar la susceptibilidad magnética midiendo el campo magnético.

Los métodos para las prospectivas, vinculados a las correspondientes tecnologías, relacionan el desenvolvimiento de la geofísica con la ingeniería.

## **Inicios históricos**

Las actividades geofísicas en nuestro territorio cuentan con antecedentes previos a su consolidación como Nación. Luego, especialmente durante las presidencias de Sarmiento, Avellaneda y Roca, se generaron instituciones que asumieron tareas sistemáticas, gracias a las cuales se acopió valiosa información, un capital científico sumamente útil para la correcta planificación.

En 1945 se celebró en Buenos Aires la 4ª Reunión de Consulta sobre Cartografía del Instituto Panamericano de Geografía e Historia. Allí, los especialistas nacionales asistentes, comenzaron a tomar conciencia de la capacidad de la acción coordinada. Máxime, con la participación nacional durante el Año Geofísico Internacional (julio 1957 - diciembre 1958) y finalmente, en el año 1959, con la fundada de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG).

La divulgación de trabajos científicos se realizó, desde entonces, a través de la revista GEOACTA<sup>1</sup>, avanzando como publicación científica periódica con artículos completos a partir de 1970. En la actualidad se está editando un volumen por año<sup>2</sup>.

Recientemente del 2 al 10 de agosto de 2023<sup>3</sup>, la AAGG organizó, invitando a la comunidad científica, a su XXIX Reunión Científica en modalidad virtual, en Mendoza y, más allá de sus actas, deja disponible las “postales” de su concurso fotográfico, dignas de revisarse<sup>4</sup>.

## **Instituciones vinculadas a la Geofísica**

Las técnicas, las tecnologías y los dispositivos propios del quehacer en geofísica se estudian y desarrollan desde instituciones nacionales e internacionales. A nivel internacional, la Asociación de Exploración Geofísica (SEG por sus siglas, en inglés, Society of Exploration Geophysicists), fundada en 1930, se destaca como organización global, sin fines de lucro, que conecta al mundo de las geofísicas aplicadas y respaldada por más de 20.000 miembros, de 128 países, desde ya, del nuestro.

La misión de la SEG es promover la geofísica en tanto ciencia y en su aplicación así como la formación de geofísicos: fomenta la práctica experta y ética en la exploración y expansión de recursos naturales, caracterización de la superficie cercana y mitigación de los peligros de la Tierra<sup>5</sup>.

A nivel nacional, se destaca la AAGG, fundada el 19 de septiembre de 1959. Tiene por misión contribuir al fomento de la investigación y la enseñanza de la geofísica y la geodesia en el país. A tal fin, organiza reuniones científicas donde se exponen investigaciones y sus resultados, facilitándose la comunicación entre grupos. La AAGG está íntimamente vinculada a la UIGGI (Unión Internacional de Geodesia y Geofísica) o IUGG (por sus siglas en inglés de International Union of Geodesy and Geophysics), que está compuesta por las siguientes asociaciones:

IACS (Asociación Internacional de Ciencias Criosféricas)

IAG (Asociación Internacional de Geodesia)

AGA (Asociación Internacional de Geomagnetismo)

IAHS (Asociación Internacional de Ciencias Hidrológicas)

IAMAS (Asociación Internacional de Meteorología y Ciencias de la Atmósfera)

IAPSO (Asociación Internacional de Ciencias Físicas del Océano)

IASPEI (Asociación Internacional de Sismología y Física del Interior de la Tierra)

AVCEI (Asociación Internacional de Volcanología y Química del Interior de la Tierra)

La Asociación se inició con una reunión en la sede de la Sociedad Científica Argentina (2 de abril de 1959) convocada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas

y Técnicas (CONICET) y presidida por el Dr. Félix González Bonorino, a cargo de la Comisión Asesora de Ciencias de la Tierra. Allí se designó una comisión para elaborar un anteproyecto de estatuto y el 19 de septiembre, en la reunión constitutiva, se adoptó la denominación y se eligió la primera Comisión Directiva<sup>6</sup>.

El Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR) es el organismo nacional científico-tecnológico responsable de la producción de conocimiento e información geológica, tecnológica, minera y geológica ambiental del territorio de la República Argentina y plataforma continental. En este marco, el Sistema de Información Geológica Ambiental Minera (SIGAM) fue desarrollado para fortalecer la gestión de la información en los niveles técnico, gubernamental y público. El SIGAM contribuye a la necesidad estratégica de facilitar el acceso y disponibilidad de la información generada en el SEGEMAR para respaldar la toma de decisiones en la gestión ambiental, la actividad minera y la planificación territorial, entre otros aspectos<sup>7</sup>.

Desde el ámbito universitario, se destaca el decano Instituto en la Facultad de Ingeniería de la UBA (Universidad de Buenos Aires): el Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas, Ingeniero Eduardo Baglietto. Es una entre otras instituciones nacionales e internacionales que, en este campo, tienen su historia, impulsando su desenvolvimiento.

Creado el 19 de diciembre de 1951 en la entonces Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales de la UBA, dos años después, pasó a formar parte de la Facultad de Ingeniería. Su Consejo Directivo resolvió llamarlo "Instituto de Geodesia y Geofísica Aplicadas" (IGGA).

El IGGA ostenta más de 60 años de actividad ininterrumpida, procurando, como se expresa en su mismo sitio web, que la Universidad cumpla por su intermedio "su misión rectora en el aspecto científico, técnico, cultural y social". Participa en proyectos de investigación, incluso en articulación con el CONICET. Abarcan temas relativos, entre otras disciplinas, a gravimetría, magnetismo, geodesia satelitaria, mareas, geodinámica, sedimentos y cuencas, estratigrafía, erosión, yacimientos, rotaciones tectónicas, georradar, vulcanismo, sísmica, hidrocarburos, fotogrametría digital<sup>8</sup>.

El programa Capítulos Estudiantiles de la SEG (unos 380 alrededor del mundo), propicia la formación de grupos de estudiantes de carreras de grado y postgrado vinculadas a la Geofísica. Del programa de la SEG, forma parte la Asociación Argentina de Geólogos y Geofísicos Petroleros (AAGGP) y sus Capítulos Estudiantiles, incluyen el de Geofísica de La Plata con su Sociedad Geofísica de la Universidad Nacional de La Plata (SEG-UNLP) otras universidades nacionales: la de Córdoba; la de San Juan y la de Río Negro. En el 2019 se sumó el de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT)<sup>9</sup>. Adoptan la misión de conectar el mundo de la Geofísica

Cuando se consulta a integrantes del Capítulo Estudiantil SEG-UNT, con qué propósitos integran la SEG, superan lo meramente científico o académico: *"buscamos generar lazos de solidaridad y compañerismo desde un enfoque interdisciplinario para el aprendizaje; para la enseñanza y la promoción de las geociencias, con una participación activa sobre la sociedad y el ambiente, integrando conocimientos desde la rica heterogeneidad del campo"*.

Desde nuestros “Capítulos”, más allá de nuclear interesados en las geociencias y en adquirir más herramientas o perfeccionarlas, se procuró generar impacto y conocimiento en la sociedad.

A tal fin, se organizan actividades significativas: cursos (sobre Sismología Volcánica Aplicada, por ejemplo), entrevistas, salidas de campo, viajes, proyectos, conferencias internacionales y *webinars* con profesionales, como el de “La Geofísica, esencial determinación del límite de la plataforma continental Argentina”. Permite comprender el rol de la geofísica en este histórico *“incremento en 1.782.500 km<sup>2</sup> de la superficie del lecho y subsuelo del mar de nuestro país, sobre la que existe seguridad jurídica para explorar y explotar recursos de forma exclusiva y excluyente: minerales, hidrocarburos y especies sedentarias”*. Lo expresado supera la representación de una ciencia socialmente aislada; prueba la capacidad de “poner pie en tierra” (hablando de geociencias): la plataforma ampliada es *“riqueza actual y potencial de recursos, invita a inversiones, auspicia impulso al crecimiento económico del país”*, comentan con entusiasmo contagioso<sup>10</sup>.

## **Implicaciones (inter)nacionales de la Geofísica institucionalmente aplicada**

El límite exterior de la plataforma se determinó según las normas del derecho marítimo internacional y los aspectos geológicos y geofísicos en el margen continental argentino: se aplicaron filtros a los campos potenciales, gravedad y magnetismo, interpretación sísmica y modelado gravimétrico 2D<sup>11</sup>.

Las detecciones previas de cuñas, constituyeron un hallazgo significativo de equipos que determinaron el borde del margen pasivo volcánico argentino, al establecer la naturaleza continental. Permitieron establecer la índole continental de la corteza que los contiene y distinguir la extensión natural del continente y la ubicación del borde entre la corteza continental y oceánica (COB). Por el análisis de modelaje 2D y características de curvas obtenidas por técnicas de resalto se identificó el COB y extrapoló a todo el margen para su delimitación<sup>12</sup>. Este análisis apoyó a la Comisión Nacional de Límite Exterior de la Plataforma Continental en la presentación argentina de la extensión jurídica de la plataforma continental argentina realizada el 21 de abril de 2009 y aprobada el 17 de abril de 2017 en el marco de la Convención de los Derechos del Mar.<sup>13</sup>

## **Presupuestos Geofísicos**

En “Geofísica Aplicada”, se destaca en la Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, la cátedra del Departamento de Ingeniería en Petróleo. Con más de 20 años en la formación de grado y posgrado en geofísica, reúne a geofísicos con experiencia en docencia y en el ámbito petrolero, público y privado, esperable en una Universidad ubicada en la geografía hidrocarburífera con epicentro en Comodoro Rivadavia. Esta cátedra enfoca la prospección sísmica y propicia el resguardo medioambiental al calentamiento global. En su sede de Comodoro Rivadavia, se dicta la asignatura de

la carrera de Geología y se deja disponible el material de divulgación y difusión de su quehacer, orientado a Prospección Sísmica -terrestre, marina y en pozos- y con dedicación hacia la Exploración y Explotación de Hidrocarburos. Según la misma fuente, a estas actividades se asigna más del 90% del presupuesto geofísico en todo el mundo<sup>14</sup>.

La Geofísica, en la prospección minera, estuvo históricamente vinculada a instituciones como el IAPG (Instituto Argentino del Petróleo y del Gas) que, desde 1957 y por iniciativa de empresas y profesionales de la industria de los hidrocarburos, se constituyó en referente técnico en Argentina. El IAPG coordina y realiza estudios sobre todos los temas científicos, técnicos, económicos y estadísticos vinculados a las industrias del petróleo y del gas. Planifica y desarrolla análisis de los que derivan publicaciones, cursos de capacitación, congresos y simposios, normas técnicas o prácticas recomendadas acerca de materiales y equipos, así como de procedimientos que colaboren a la seguridad y preservación ambiental. Propende a la difusión y a la formación profesional, colaborando con instituciones académicas en la orientación de egresados universitarios y técnicos. Su sistema de información geográfica (accesible en línea), detalla cada área (superficie, operador, participantes, mapas). *Petrotecnia*, considerada la más prestigiosa revista técnica especializada en hidrocarburos en español, es su órgano oficial de difusión.

Publica desde 1957 notas; reportes de las actividades desarrolladas y un suplemento estadístico<sup>15</sup>.

## **La formación y la actividad laboral**

La carrera de Geofísica la dicta la Universidad Nacional de La Plata, la de San Juan y la del Sur.

La Universidad Nacional de La Plata (UNLP) es la más antigua en su dictado. Es una carrera que el Gobierno Nacional incluye entre las «prioritarias» para la economía del país y una opción de grado a la que los estudiantes pueden acceder beneficiados con becas del Ministerio de Educación. Desde su creación, hace más de 50 años, en la UNLP, se registra para sus graduados, uno de los índices de inserción laboral más alto del país. Se afirma que el título “garantiza” empleo y según datos oficiales, cada estudiante tiene un puesto de trabajo asegurado aun antes de concluir la carrera. La expansión de la industria energética -especialmente la ligada al petróleo y explotación minera- sería la clave de este fenómeno. Vinculada al sector energético y al medio ambiente, la Geofísica aparece como una de las opciones de formación profesional más atractivas en términos de oportunidades laborales. Las empresas reconocen que el país no «produce» suficientes profesionales para cubrir esa demanda. En tanto nuestro país se avizora el desarrollo de una industria energética propia creciente, se prevé una demanda de profesionales aun mayor a la que ya es amplia. Las autoridades universitarias expresan que *«La explotación de recursos naturales es estratégica para el desarrollo energético del país; nuestro rol como unidad académica es asumir el desafío de aportar la suficiente cantidad de recursos humanos formados que reclama el sector»*. Se plantea que

la demanda de profesionales se irá incrementando a partir de la creación de Y-TEC. Desde Y-TEC se coincide con tal diagnóstico.

La Y-TEC, la empresa de tecnología con sede en La Plata, creada por YPF, el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, y el CONICET, tiene como objetivo ser una referencia internacional en investigaciones tecnológicas aplicadas, principalmente a la producción del petróleo y gas no convencional.

El Director de Y-TEC explica: *«el sistema universitario no alcanza a cubrir la demanda de graduados de las empresas petroleras y mineras y esto será más evidente a medida que avancen proyectos como el de Vaca Muerta»*. Las características de Vaca Muerta, uno de los mayores yacimientos no convencionales del planeta, representan un desafío.

Para su explotación será crucial el aporte de geofísicos, además de geólogos, ingenieros en petróleo, y geoquímicos. La Fundación YPF plantea crear el «Programa de Fortalecimiento a la Carrera de Geofísica». Las universidades desarrollan estrategias de estímulo para mejorar los índices de inscripción. Sus planes de estudios incluyen conceptos de física y matemática junto a conocimientos generales de Geología y Geofísica en los primeros años y los últimos, disciplinas específicas:

- Gravimetría (estudia y mide el campo de gravedad terrestre)
- Geomagnetismo (estudia y mide el campo magnético terrestre)
- Sismología (estudia los terremotos y propagación de ondas sísmicas generadas en el interior y la superficie de la Tierra)
- Física del interior terrestre, Geodesia (determina la forma y dimensiones de la Tierra)
- Meteorología (estudia la dinámica de la atmósfera y el comportamiento del clima) y
- Métodos de Prospección Geofísica (determina la constitución del subsuelo observando fenómenos físicos de origen natural o artificial para aplicar en exploración petrolera, minera, aguas subterráneas o arqueológicas entre otras)

Los egresados pueden optar por dos áreas profesionales: por un lado, el sector productivo vinculado a la exploración y explotación de hidrocarburos de yacimientos convencionales y no convencionales, adquiriendo datos geofísicos (sísmicos, gravimétricos, magnéticos, etc.) o procesando e interpretando datos.

El otro ámbito laboral es el académico, el de la investigación científica (básicamente, en temas relacionados a hidrocarburos, aguas subterráneas o al medio ambiente)

## Dividir o multiplicar la Geofísica

La American Geophysical Union separa a la Geofísica en ocho subdivisiones:

**Meteorología:** como ciencia del aire, estudia el acontecer relacionado a fenómenos atmosféricos.

**Hidrología:** comprende conocimientos e investigaciones relacionados con las aguas continentales, superficiales y subterráneas, como así también la **Glaciología**.

**Oceanografía:** se ocupa de los océanos, sus aspectos químicos, físicos y biológicos.

**Vulcanología:** estudio el vulcanismo, su génesis, evolución y consecuencias.

**Tectonofísica:** estudia la deformación de las rocas, tanto en estructuras sujetas a grandes movimientos, como en cualquier otro fenómeno diastrófico, superficial o profundo.

**Geodesia:** se ocupa de la medida y forma de la tierra, así como de su campo gravitatorio.

**Sismología:** comprende el análisis de los movimientos que afectan al planeta, provocados por terremotos u otros movimientos naturales o artificiales.

**Geomagnetismo:** estudia el campo magnético terrestre, sus causas y perturbaciones.

A la clasificación general de la Unión de Geofísicos Americanos, algunos investigadores comienzan a considerar como separado a cuatro ramas más.

**Glaciología:** trata del agua en forma de hielo; solía considerarse parte de la Hidrología

**Geotermia:** está muy relacionada con la Vulcanología, aunque es de concepto más limitado. Estudia la temperatura de la Tierra y su acción (sobre procesos físicos y químicos) y la transmisión de calor.

**Geocosmogonia:** trata del origen de la Tierra.

**Geocronología:** se ocupa de la cronología de los acontecimientos (de la historia).

La Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG) propone otras secciones.

Las siguientes:

- **Geodesia**
- **Sismología y Física del interior de la Tierra**
- **Meteorología y Física de la atmósfera**
- **Geomagnetismo y Aeronomía**
- **Ciencias Físicas de los Océanos**
- **Hidrología científica**
- **Volcanología y Química del interior de la Tierra**

Cada una de estas especialidades puede tener su peculiar historia de desenvolvimiento y han contribuido, y lo siguen haciendo, al mejor conocimiento de nuestro planeta y han creado disciplinas cuya aplicación a actividades económicas de la humanidad, han contribuido a la evolución actual. Así la **Sismología**, cuyos inicios fueron el estudio de terremotos, determinó leyes para la aplicación de sus principios a la prospección sísmica, de trascendencia clave en exploración petrolera.

### **Más allá de la prospección: Geofísica “forense”**

El mismo equipamiento geofísico –resistivímetros, georradars y sondas electromagnéticas- para analizar problemáticas ambientales para evaluar contaminación del suelo o explorar recursos hídricos subterráneos, pueden ponerse al servicio del Programa Nacional de Ciencia y Justicia para mejorar la investigación forense. En sitios cerrados o cubiertos con hormigón o cemento, el georradar es la mejor herramienta; en lugares con mucha vegetación y de difícil acceso, lo apropiado es el método eléctrico. En grandes extensiones, conviene un método electromagnético portátil.

Los métodos geofísicos en investigaciones forenses, permiten cubrir grandes extensiones en poco tiempo en comparación con los tradicionales de exploración arqueológica-forense.

Un científico del CONICET, doctor en geofísica del Centro de Investigaciones y Transferencia del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires (CIT NOBA) hace años se desempeña para el Equipo Argentino de Antropología Forense (EAAF) en un campo de aplicación inesperado: asesorar en casos judiciales, apelando a métodos geofísicos para buscar restos de enterrados bajo tierra, puntualmente valiéndose del georradar, un instrumento usado para la caracterización de suelo y estructuras enterradas pero que en el ámbito de las ciencias forenses es conocido como “el detector de huesos”.

Desde el 2018, el geofísico Santiago Perdomo participa como asesor técnico externo del EAAF en cuatro causas nacionales, dos internacionales y en el dictado de talleres de capacitación o divulgación para personal judicial y familiares de víctimas. Todas esas pericias las hizo en el marco de un acta, firmada en abril del 2019 entre el EAAF y CONICET a través del Programa Nacional de Ciencia y Justicia, con el objetivo de institucionalizar esta colaboración de asesoramiento técnico específico sobre la aplicación de métodos de prospección geofísica a la arqueología forense.

Los métodos geofísicos son herramientas complementarias, aportan información a la investigación forense: una fosa clandestina o los enterramientos producen una modificación de las condiciones naturales del subsuelo que las herramientas geofísicas pueden detectar. La investigación forense procura responder interrogantes: quién, cuándo, cómo, dónde, qué y por qué. La geofísica ayuda a responder el “dónde” en interpretaciones conjuntas con un equipo multidisciplinario<sup>16</sup>.

### **Arsénico en el agua subterránea, la geofísica apuntando a *dónde* y *cómo* buscarlo**

Diversas investigaciones se dedican al estudio de un tema crucial: contaminación de aguas subterráneas por métodos geofísicos e hidrogeológicos, como lo explicita una tesis de doctorado<sup>17</sup>.

En particular, en el mundo, existen vastas regiones en que el agua subterránea “naturalmente” contaminada por arsénico.

En Argentina: la llanura Chacopampeana, que comprende a Buenos Aires, La Pampa, Córdoba, San Luis, La Rioja, Santa Fe, Santiago del Estero, Tucumán y Chaco, presenta dificultades para proveer agua potable. En zonas de esta gran región, el arsénico aparece en concentraciones superiores a las apropiadas para el consumo humano según la Organización Mundial de la Salud (OMS). El Instituto de Hidrología de Llanuras “Dr. Eduardo Jorge Usunoff” (IHLLA), a través de un proyecto de investigación “Comportamiento y evolución espacio-temporal del arsénico en aguas subterráneas de la República Argentina”, está desarrollando una línea de investigación, instrumentado por diferentes herramientas geofísicas.

Como la sonda NGS (Natural Gamma Spectroscopy, Espectroscopía de rayos gamma), que mide la radiación gamma natural de los sedimentos y divide el espectro de emisión

de energía en tres componentes que son el Potasio (K), el Thorio (Th) y el Uranio (U). El IHLLA, cuenta además con otra sonda, “medidor de flujo con micromolinete” (impeller flowmeter). Al bajarla a un pozo ranurado o desnudo, permite detectar las porciones del acuífero en las que la entrada de agua al pozo son mayores. Las señales y la información a recabar, permite detectar capas que erogarían mayor arsénico al pozo, sin realizar análisis químicos. Detectadas estas capas pueden ser aisladas, para que al bombear el pozo no aporten arsénico al agua de consumo. ¡Una solución geofísica!<sup>18</sup>

Para difundir el peligro de la muda presencia del arsénico, se realizan actividades para divulgar “pronósticos geofísicos”. Como la reunión presencial en Azul y virtual, en simultáneo, organizada por el IHLLA y la Universidad de Manchester, con el apoyo del British Council Argentina, la Municipalidad de Azul, en noviembre de 2019<sup>19</sup>.

Fue la Primera Reunión de Arsénico en la Llanura Pampeana. Al taller “Presencia natural del Arsénico y la situación de los sistemas públicos de suministro de agua de la Provincia de Buenos Aires” le prosiguió un curso de profundización<sup>20</sup>.

## **Una historia de pioneros en el ámbito público**

El Museo de Astronomía y Geofísica tiene como misión la difusión del patrimonio histórico y cultural de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geodésicas de la UNLP. Como museo universitario, propicia un espacio de investigación y diálogo con la comunidad sobre el patrimonio del Observatorio y la historia de la Astronomía, la Meteorología y la Geofísica en nuestra región.

El Observatorio de La Plata fue fundado en 1883, y desde esa época se pensó en la creación de un museo. Esto recién ocurrió un poco más de cien años después cuando en julio de 1997 la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas decide su creación. El acervo del Museo está constituido por los instrumentos científicos que fueron adquiridos a finales del siglo XIX y durante el siglo XX y que dan cuenta de los comienzos de la astronomía y la geofísica en nuestro país. Además de empeñar el Observatorio esfuerzos en favor de la investigación en el ámbito de la Sismología, los volcó también en favor de su enseñanza. En 1947, se resolvió crear el Doctorado en Geofísica, y se le encargaron al ingeniero Simón Gershanik, sus planes de estudio. Con los planes que preparó, la carrera se instituyó en 1948 y al decidirse conveniente que los profesores se dedicaran a una sola materia de su preferencia, Simón optó por la Sismología, a su cargo hasta 1977, año en que por disposiciones reglamentarias, pasó a retiro y, para evitarle daños a la enseñanza, siguió dictando la materia ad-honorem hasta 1980. Ese año se puso a su cargo a Nora Sabbione, competente egresada de la escuela. Al crearse el Doctorado en Geofísica, la Escuela cambió su nombre por el de Escuela Superior de Astronomía y Geofísica. Durante muchos años, fue la única no solo en Argentina sino en Latino-América, en la que podía cursarse ese doctorado.

## Logros, Legados y Aniversarios

Pasado más de medio siglo del terremoto de 1944 en San Juan, lo recordamos como un hito desencadenante de acciones en ciencia y tecnología.

Conmovió al país y develó la necesidad de estudios de sismología en la región. Varios años más tarde, Fernando Volponi llegó allí desde Buenos Aires como integrante de la comisión de la Nación con esa función.

El **Instituto Geofísico Sismológico**, dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan, se fundó el 29 de octubre de 1954, de la mano del Ingeniero en Geofísica Fernando Volponi y lleva su nombre. Es uno de los más antiguos institutos de investigación de la Universidad y su prestigio tiene alcance nacional e internacional. En este centro se llevan adelante trabajos de sismología, de sísmica de prospección, geotecnia, gravimetría, magnetometría y nivelaciones de precisión. Cumple un rol crucial en la formación de investigadores. A punto de cumplirse 75 años del Instituto Geofísico Sismológico Volponi, su director actual, Francisco Ruiz, contagia entusiasmo, en una entrevista, sobre el vínculo con la comunidad:

*“Para los 65 años, festejaremos plenamente, con un festejo abierto a la comunidad, que la gente pueda ir a ver las instalaciones, conocer nuestra labor, creemos que es importante porque el Instituto es uno de los más antiguos de la Universidad, realizamos nuestra tarea tratando de seguir los pasos de nuestro fundador, Fernando Volponi. Vino a San Juan a trabajar en la planificación de una ciudad resistente a movimientos sísmicos y por ello se comenzó a estudiar Sismología, Volponi construyó sus propios sismógrafos. Festejamos el 29 de octubre, fecha en que salió el decreto de la gobernación de San Juan, donando el terreno para construir la estación sismológica, ubicada en Zonda, frente al Jardín de los Poetas. El Instituto nació como estación sismológica y se convirtió en Instituto de Investigaciones.”*

Francisco Ruíz detalla que la “mesa digitalizadora” diseñada por Fernando Volponi, llevó a comprender, por ejemplo, a qué se debe el retardo de las ondas sísmicas que se llaman PKP. La causa es la raíz andina donde la corteza, en lugar de tener los 35 km habituales, tiene 60 km.

Eso empezó a consolidar la teoría de la tectónica de placas, en los años 70. Fue la contribución de Sudamérica en esta subducción de la Plaza de Nazca, conociendo la sismicidad y su distribución, que no es otra que la de ruptura por sismos. Gracias a estas investigaciones se determinaron las aceleraciones probables y generó una carta de peligro sísmico para la Argentina.

Hay otra veta de trabajo del Volponi: la divulgación y la prevención sísmica. Sabemos que así como existieron sismos destructivos a fines de 1800, 1924, 1944, 1952, 1977, en cualquier momento va a producirse otro sismo sanjuanino destructivo, en un segundo o en 25 años. Si ocurriera lo que sucedió en 1944, que el centro fue muy cerca de la ciudad de San Juan, habría destrucción de los edificios no sismo-resistentes. Por eso, se construyen en San Juan, solo edificios sismo-resistentes.

El instituto lleva actualmente adelante 16 proyectos de investigación financiados por la Agencia Nacional de Investigación Científica y Técnica FONCYT, el gobierno y la UNSJ. Se abarcan varias áreas de la Geofísica y forman recursos humanos. Se destaca el proyecto satelital: con ifSAR (Interferometría de radar): a través de imágenes de satélites se sacan fotos espaciales de la Tierra.. Comparando las tiradas de fotos a lo largo del tiempo, se detectan deformaciones, para ver cuál es la zona en que sea más factible que se generen terremotos<sup>21</sup>.

## **El Observatorio Astronómico de La Plata y su labor Geofísica**

El Observatorio fue creado en 1883, un año después de la fundación de La Plata. En 1905 pasó a integrar la Universidad Nacional fundada ese año. Al crearse la Universidad se había establecido que el Observatorio organizaría la enseñanza de la Meteorología, del Geomagnetismo y de la Sismología.

A tal fin, se incorporó Dr. Galdino Negri en 1905 y dos años después se adquirió un equipo sismográfico "Vicentini" a tres componentes. Se trataba de un simple péndulo vertical para registrar componentes horizontales del movimiento del suelo y una barra horizontal libre en un extremo y vinculada rígidamente al suelo, la componente vertical. Registraba con mucho roce sobre papel ahumado, marcaba impropiamente el tiempo, carecía de amortiguadores y sus períodos propios eran de pocos segundos. Esto impedía sacarle efectivo provecho. A tal fin, se incorporó Dr. Galdino Negri en 1905 y dos años después se adquirió un equipo sismográfico "Vicentini" a tres componentes: un simple péndulo vertical para registrar componentes horizontales del movimiento del suelo y una barra horizontal libre en un extremo y vinculada rígidamente al suelo, la componente vertical. Registraba con mucho roce sobre papel ahumado, marcaba impropiamente el tiempo, carecía de amortiguadores y sus períodos propios eran de pocos segundos. Esto impedía sacarle efectivo provecho. Además del equipo Vicentini se contó con un par de sismógrafos H construidos por el mecánico Domingo Callo.

Pero esos sismógrafos se instalaron en San Juan, en una estación privada atendida por el Coronel Luis Fontana. La estación funcionó algunos años, con escaso rendimiento, porque también los instrumentos padecían de severos defectos. Para mejorar las posibilidades en el Observatorio se adquirió en 1911 un sismógrafo Mainka de 450 kilos, con amortiguadores, período propio de 8 segundos, amplificación del 160 veces e inscripción con roce leve. Fue éste en su tiempo un buen equipo. Recién en 1922 comenzó a rendir debidamente, año del comienzo de una seria y eficiente contribución argentina a la Sismología, mérito que desde entonces y por muchos años, propio del Observatorio Astronómico de La Plata. Un año antes, tomó su dirección el astrónomo alemán Juan Hartmann. Se interesó por el servicio sismográfico y, pese a ser ajeno a la especialidad, lo mejoró notoriamente: asumió la tarea de atender el funcionamiento del equipo Mainka, inició la sistemática interpretación de los sismogramas y su difusión en la Publicación del Observatorio que denominó *Contribuciones Geofísicas* (mas tarde, *Serie Geofísica*). Además, para completar el equipo sismográfico adquirió un Wiechert Z de 80 kilos que fue puesto en funcionamiento en 1925.

En 1924, y hasta 1933, el cargo de jefe de Sismología lo ocupó Federico Lunkenheimer, científico nacido en Alemania, formado en Física, Química y Geofísica que se había desempeñado en tareas similares en la Oficina Meteorológica. Lunkenheimer mantuvo el equipo sismográfico en óptimas condiciones, instituyó la difusión de los datos producidos vía boletines sismográficos que se hacían llegar a otras estaciones esparcidas por el planeta, y en especial al ISS, y al U.S. Coast and Geodetic Survey de Estados Unidos (USCGS) que, con el andar del tiempo, fue sustituido por el Environmental Science Service Administration y el National Earthquake Information Service (NEIS). El sistemático cálculo de la ubicación de fenómenos sísmicos se publicaba bajo el título *Resultados Sismométricos*. A partir de 1933, el director fue Simón Gershanik. Simón ingresó a la Institución en 1929, siendo estudiante y ya graduado en la UNLP, fue enviado a Alemania para perfeccionarse en Geofísica.

Emprendió trabajos originales de investigación. En el curso de su actuación al frente de la Sección Geofísica (luego convertida en Departamento), más precisamente el 15 de enero de 1944 se produjo el terremoto que destruyó la ciudad de San Juan.

Gershanik empuñó esfuerzos para establecer una estación sismológica complementaria de la de La Plata, en Santa Cruz, donde se planeaba erigir una estación astronómica. Para perfeccionar el equipamiento de la estación de La Plata, consiguió que se le proveyera en 1948 un equipo de sismógrafos H electromagnéticos y un radio-receptor para controlar marcación del tiempo. El equipo funcionó en La Plata casi una década y luego en Santiago del Estero donde se lo usó para equipar una estación sismográfica con vistas a contribuir con ella al Año Geofísico Internacional 1957-1958.

En la instalación de esa estación se empeñaron, además de Gershanik, el ingeniero Pastor Sierra y Enrique Jaschek. Se decidió ubicarla en Santiago para perfeccionar la información sobre terremotos de foco profundo porque en esa provincia y vecindades suelen ocurrir fenómenos de esa clase.

Por igual razón, se trasladó además a esa estación el Wiechert Z de La Plata, con la esperanza de que allí prestaría mejores servicios que en donde se lo venía teniendo. La estación de Santiago del Estero funcionó desde 1957 hasta 1965, en que hubo que suspenderla porque el nivel de las aguas freáticas se elevó considerablemente, lo que produjo una incontrolable inundación de los recintos en los que se tenía los captores de los instrumentos.

Un progreso clave en la actividad sismográfica del Observatorio Astronómico, se logró en 1962: las autoridades del plan VELA que procuraban formar la red sismológica mundial uniforme (WWSSN) lo incorporaron a esa red. Tomaron en cuenta la seriedad y eficiencia con que se atendía el servicio sismográfico en el Observatorio y por lo tanto, fue provisto de un equipo completo de sismógrafos electromagnéticos y un reloj de cuarzo. Desde entonces, el equipo viene funcionando con eficiencia, atendido primero por el ingeniero Pastor Sierra, luego por el profesor Enrique Jaschek.

Se realiza la lectura de los sismogramas y el envío de la información a los centros internacionales. La práctica de distribuir boletines preliminares iniciada por Lunkenheimer, se mantuvo hasta ser sustituidos por unos más completos.

Retirado el ingeniero Gershanik, el Departamento de Geofísica cambió su denominación por el de Departamento de Sismología e Información Meteorológica y su conducción fue confiada sucesivamente al ingeniero Pastor Sierra y al profesor Enrique Jaschek. Los datos producidos por los sismogramas se van transmitiendo con mucha prontitud por correo electrónico. Se prosiguen con investigaciones diversas y en los últimos años, además de las de Sismología, se suman las de actividad volcánica en la isla Decepción (Antártida Argentina).

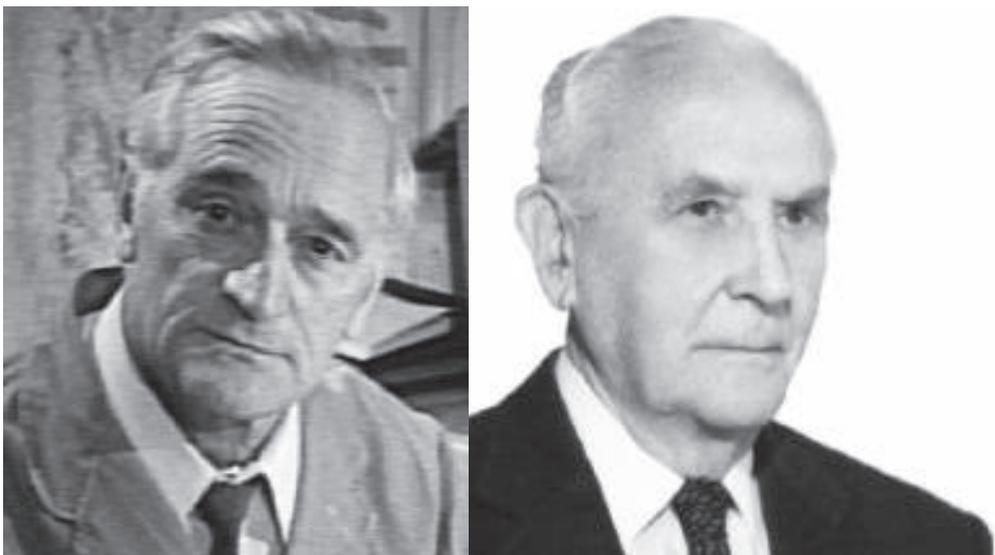
### **La enseñanza**

Además de empeñarse el Observatorio en la investigación en Sismología, se dedicó a su enseñanza.

Durante varios años hasta 1934, enseñó esa materia el doctor Lunkenheimer, a estudiantes del Doctorado en Física que debían cursar por correlación alguna materia de Geofísica, alternándola con Geomagnetismo y Meteorología. Mas tarde, en 1935, en cumplimiento de la ley que incorporó el Observatorio a la UNLP, quedó creada la Escuela Superior de Ciencias Astronómicas y Conexas y en los planes de estudios del doctorado en Astronomía se incluyó dos cursos anuales de Geofísica. El ingeniero Gershanik fue uno de los primeros profesores de la escuela, y en ella dictó hasta el año 1948, también alternadamente las mismas materias que dictara Lunkenheimer y además Gravimetría y ocasionalmente Métodos de prospección sísmica.

En 1983, la Escuela Superior se convirtió en Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas, dedicada a la enseñanza y a la investigación científica, y por lo tanto, incluye en su seno al Observatorio Astronómico con todos sus Departamentos.

### **La Geofísica desde sus actores y pioneros**



A la izquierda, Fernando Volponi y Simón Gershanik a la derecha.

**Fernando Séptimo Voponi:** nacido en Piamonte, en 1910, llegó a Argentina a los 15 años. Se graduó como Ingeniero Mecánico-Electricista en la UNLP y trabajando en YPF, se especializa en Geofísica. Sus inicios en el estudio de los fenómenos sísmicos comienzan a partir del terremoto destructivo del 15 de enero de 1944 de San Juan.

Formaba parte de una comisión que debía evaluar la posibilidad de reconstruir la ciudad y se pasó de pensarla “en otro lugar” a reconstruirla con mayor seguridad. Radicado en San Juan, asume en 1947 el dictado de Geofísica Aplicada en Ingeniería de Minas, en la Facultad de la Universidad de Cuyo.

A principios de la década del 50, realiza los planos de un sismógrafo mecánico cuya construcción se llevó a cabo en los talleres de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cuyo. Estuvo terminado a inicios de 1952 y logró registrar el terremoto magnitud Richter  $M=7.0$  de junio, ese año.

El rico legado de Fernando Volponi incluye su rol en las nacientes tectónicas de placas que se descubrió y afianzó con un dificultoso operativo con sismógrafos portátiles: todos los días se debía salir en camioneta a cambiar los papeles a ocho registradores distribuidos en el Valle de Tulúm hasta la Cordillera; sincronizar los relojes de los sismómetros; retirar los papeles en papel ahumado y leer las señales de los sismos para interpretarlas. Este arduo y puntitosos trabajo de dos años de duración, culminó con el diseño de Fernando Volponi de una *mesa digitalizadora*.

Se trataba de una especie de “computadora analógica” donde con los tiempos de lectura de los sismos se podía localizar el epicentro y la profundidad.

El 29 de octubre de 1954 crea la Estación Sismológica Zonda, en funcionamiento de manera continua desde 1958 al presente, y que da origen al Instituto Sismológico Zonda, hoy denominado en honor a su creador y director hasta 1988: Instituto Geofísico Sismológico Ingeniero Fernando Séptimo Volponi (IGSV), dependiente de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Volponi, pioneros en Geofísica, realizó y publicó numerosos trabajos de investigación, destacándose la primera “Regionalización sísmica de la Argentina”, publicada como “Aspectos Sismológicos del Territorio Argentino” en las Actas de las Primeras Jornadas Argentinas de Ingeniería Antisísmica en 1962. Murió en San Juan, el 9 de febrero de 2002.

Simón Gershanik: nació en Entre Ríos el 1 de agosto de 1907 y murió el 18 de abril de 2008. Era agrimensor e ingeniero civil y en 1935 se perfeccionó en Geofísica en Alemania (Potsdam y Gottigen). En 1944, asumió como Jefe del Departamento de Sismología del Observatorio Astronómico de la Plata, y posteriormente, como su Director desde 1964 y hasta 1967. Destacado co-fundador del Centro Regional de Sismología para América del Sur (CERESIS) y su presidente (1975-1977) también fue fundador de la Asociación Argentina de Geofísicos y Geodestas (AAGG) en 1959, y su presidente (1959-1967). Fue el autor de “Tratado de Sismología” (1996); y de más de 50 trabajos científicos publicados en revistas especializadas nacionales e internacionales de gran contribución al desarrollo de la Sismología e Ingeniería Sismorresistente.

## Relación entre la práctica y la física

En la investigación física del subsuelo, hubo como en toda actividad, precursores, valiéndose de métodos y medios diversos. Pero recién a fines del siglo pasado surgió el primer instrumento geofísico suficientemente sensible para la exploración minera y petrolífera.

Se trataba de la ingeniosa balanza de torsión del barón de Eotvos, creada con finalidad primordialmente científica, pero de aplicación utilitaria obvia. Prestó servicios valiosos entre 1915 y 1936, en que se la abandonó por otros instrumentos igualmente precisos y más expeditivos. Con sus primeras aplicaciones, en 1915, en Checoslovaquia, y Estados Unidos., en 1924, se inició la era en que fue posible inferir la existencia de yacimientos a varios kilómetros de profundidad.

Fueron apareciendo y perfeccionándose otros procedimientos, de eficacia creciente, con técnicas ingeniosas e instrumental refinado, con magnetómetros, péndulos de longitud mínima, sismógrafos de reflexión y refracción, gravímetros, magnetómetros aéreos, que en la actualidad proveen otras tantas abordajes a la exploración. Aunque estos procedimientos han llegado a ser de gran complejidad, se asientan en muy simples principios fundamentales, que cabe explicar brevemente. Las rocas del subsuelo poseen propiedades físicas en grados muy variables, y, en cierto modo, típicos, que permiten captarlas. Las principales de esas propiedades son la densidad, la susceptibilidad magnética, la elasticidad, la resistividad eléctrica y la radioactividad. Según se aproveche una u otra, se distinguen cinco grupos de métodos geofísicos, los gravimétricos, los magnetométricos, los sismográficos, los geoelectrícicos y los radioactivos.

En ocasiones, las sustancias buscadas poseen, alguna de las propiedades físicas que se acaba de enumerar, y es, por tanto, posible descubrirlas. En otros casos, en cambio, no se reconoce directamente el material buscado, por carecer de características destacadas, pero sí se sabe que está asociado con otros, o con cuerpos geológicos, que poseen aquellas propiedades, puede lograrse su descubrimiento por vía indirecta. En ambas formas trabajan los métodos geofísicos, y no puede casi nunca desligárselos del conocimiento de esas asociaciones de lo buscado con lo descubrible.

Como las masas se atraen en relación inversa al cuadrado de sus distancias, es posible inferir la existencia de cuerpos pesados, en el subsuelo, con instrumentos suficientemente sensibles.

Este es el principio de los métodos gravimétricos, y de ellos, el más usado al presente, es el de gravímetros. La gravedad es la fuerza originada por la atracción de la Tierra y puede calcularse el valor que tendría en cada lugar, si las rocas que componen la tierra fuesen homogéneas, o si estuviesen dispuestas en mantos paralelos y concéntricos. Cuando existen heterogeneidades en el subsuelo, es decir cuerpos geológicos más o menos pesados, su atracción se suma a la de la Tierra homogénea, y la gravedad varía en intensidad, produciendo lo que se llama una anomalía.

Para medir la gravedad, mejor dicho diferencias de gravedad de lugar a lugar, se usan gravímetros, en esencia resortes de los que cuelgan masas. Su peso aumenta al

aumentar la gravedad, o sea al intervenir la atracción de cuerpos pesados, y el resorte se estira un poco más.

Al medir sus alargamientos, se mide también la gravedad, y se pueden descubrir los cuerpos que en el subsuelo tienen densidad mayor. Lo inverso ocurre, naturalmente, con los cuerpos más ligeros.

Sencilla como parece así enunciada, la tarea de medir la gravedad por el alargamiento de un resorte es en extremo dificultosa: alcanzar la necesaria exactitud implica apreciar estiramientos 100 veces menores que la longitud de onda de la luz amarilla, en resortes de una longitud como para ser transportables. Se lo ha podido realizar con ingeniosos medios, y se dispone ahora de gravímetros que pueden establecer diferencias de gravedad con precisión de  $1/100.000.000$  de su valor.

Los métodos magnéticos miden las anomalías del campo magnético terrestre, es decir la diferencia entre los valores reales y los correspondientes a una Tierra homogénea. Se usan agujas imantadas girando en torno a un eje horizontal y en que se equilibra la rotación que produce el campo magnético, con la cupla debida al peso, aplicado en el centro de gravedad, no coincidente con el de rotación. También se ha desarrollado, durante la última guerra, un magnetómetro móvil, que por un dispositivo muy ingenioso se orienta automáticamente en la dirección del campo magnético, y mide su intensidad con gran precisión. Este instrumento había comenzado a construirse por una compañía petrolera, para la exploración, pero se advirtieron sus posibilidades para la detección de submarinos. Se aceleró su desarrollo, con éxito tan señalado, que constituyó el elemento esencial para el triunfo de las fuerzas aliadas en la encarnizada y larga batalla del Atlántico.

Las rocas del subsuelo suelen tener, difundidas, cantidades variables de magnetita, un óxido de hierro de elevada susceptibilidad, y, en consecuencia, se imantan o polarizan, de acuerdo con su contenido. Así, pueden diferenciarse unos estratos de otros, o del basamento, y distinguirse cuerpos geológicos de destacada susceptibilidad.

Los métodos sismográficos tienen por base una muy simple idea, que es la misma del eco. Tal como puede calcularse la distancia a una pared por el tiempo que tarda en volver un sonido reflejado, puede calcularse la profundidad a que yace un estrato que refleja ondas elásticas, similares a las de sonido en el aire, provocadas por explosiones. Midiendo con precisión de  $1/1000$  de segundo, el tiempo que las ondas tardan en descender y ascender, y conociendo la velocidad con que se propagan en la tierra, puede calcularse la profundidad del estrato con mucha exactitud. Haciendo lo mismo en varios puntos, es dable averiguar la conformación del estrato, y si está plegado. Este es el método sismográfico de reflexión, el más perfecto de los desarrollados hasta ahora para investigaciones estructurales a gran profundidad. En su aplicación práctica se presentan complicaciones de diversa índole, que lo tornan complejo sin invalidar sus resultados.

El método sismográfico de refracción difiere del de reflexión en varios aspectos, y permite, como aquel, calcular profundidades e inclinaciones de estratos. Además, proporciona una idea sobre la índole de las rocas del subsuelo, lo que no hace el de reflexión. En efecto, el de reflexión requiere que se determinen de modo independiente las velocidades de las ondas sísmicas en el subsuelo, mientras el de refracción, las establece directamente. Sin embargo, el método de refracción no es tan exacto como el de reflexión para dar

profundidades e inclinaciones. Otros procedimientos geofísicos de interesante aplicación se reúnen bajo el nombre de métodos eléctricos, y de ellos, el de la resistividad es el más usado. Su idea central es que las rocas, cuando secas, son de elevada resistividad eléctrica, pero al contener fluidos conductores, la resistividad disminuye drásticamente. El agua es un fluido conductor de baja resistividad electrolítica, incluso la potable, contiene sales en solución. Se usan una gran variedad de dispositivos, pero con mayor frecuencia el de cuatro electrodos: dos se conectan a una fuente de tensión, produciendo una corriente en el subsuelo, de penetración tanto mayor cuanto lo sea la separación de los electrodos.

Los otros dos electrodos miden la caída de tensión provocada por la resistividad del subsuelo, pudiéndose deducir, dentro de ciertas limitaciones, la profundidad de las napas acuíferas. Una variante de este mismo método se usa en el interior de pozos para detectar capas porosas e impermeables, su contenido en fluidos, y facilitar la correlación de las formaciones que se atraviesan en varios pozos. Esta variante se llama perfilaje eléctrico, y se aplica sistemáticamente, y con éxito, en pozos de petróleo, y en muchos para agua.

Finalmente, los métodos radioactivos consisten en la detección de minerales en los que es activa la emisión de radiaciones por medio de la ionización que producen en el aire con electrómetros, o, directamente, valiéndose de contadores del tipo Geiger-Müller. También se ha desarrollado un método radioactivo para aplicar en pozos, aprovechando las diferencias en esa propiedad de las distintas rocas y de diversas clases de petróleo y agua. Varios otros métodos se han propuestos y ensayados, sin demostrar su eficacia.

Expuestos los principios fundamentales de los métodos geofísicos de prospección, veremos un ejemplo de cómo se aplican para resolver un problema particular, y tomaremos, como de interés mayor, el de la parte sur de la provincia de Buenos Aires.

Interesado en establecer las posibilidades petrolíferas de la extensa región al sur de Sierra de la Ventana, dispuso Y.P.F., hace algunos años, la realización de estudios con los métodos sismográfico de refracción, gravimétrico y sismográfico de reflexión. El propósito era descubrir el espesor de los sedimentos, la conformación y dimensiones de las cuencas que hubiera, y la existencia de anticlinales aptos para almacenar petróleo. El primero que se usó fue el sistema de refracción, con resultados satisfactorios; permitió ubicar dos importantes cuencas sedimentarias: la de Bahía Blanca y la del río Colorado, y establecer su profundidad, dimensiones y conformación.

Si bien lo que puede establecerse con seguridad y aceptable exactitud es la profundidad del basamento, es posible también, pero de manera bastante conjetural, distinguir la transición entre estratos de diversa velocidad y calcular su posición. La velocidad con que las ondas elásticas se transmiten a lo largo de un estrato tiene relación con su grado de consolidación y es, por ende, tanto mayor cuanto más antiguo y profundo es el estrato. Nuevas determinaciones con sismografía de refracción, y su enlace con perfiles de pozos a ir perforándose, en que sería conveniente hacer perfilajes eléctricos en pos de correlaciones exactas, irán afinando y complementando este mapa, haciéndolo más discriminativo. En una etapa posterior hizo Y.P.F, el relevamiento gravimétrico de la zona, para ubicar, con ese método relativamente económico, las áreas de mejores perspectivas, y usar allí, y sólo allí, el costoso procedimiento sismográfico de reflexión.

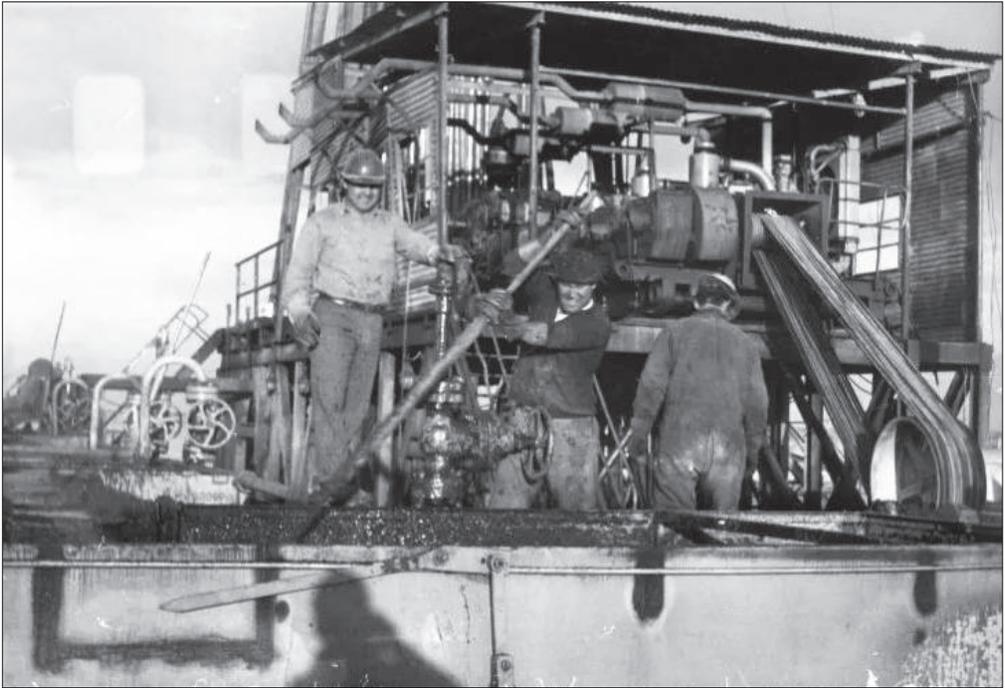
Los procedimientos geofísicos que se han descrito tan someramente, se emplean en el mundo entero con éxito notable, frente al problema de la búsqueda de petróleo y gas, agua subterránea, minerales y rocas de aplicación, y, también, en forma cada vez más sistemática, para establecer la profundidad de las rocas adecuadas para la fundación de embalses y otras grandes estructuras ingenieriles, y para el diseño y verificación de edificios antisísmicos. Índice elocuente de eficacia es el descubrimiento, en nuestro país, de cuatro importantes yacimientos de petróleo y de gas.

Los siguientes cuadros, elaborados por la IHLLA, categorizan las aplicaciones geofísicas<sup>22</sup>.

I H L L A		APLICACIONES																				
		Litología y Estratigrafía								Prop. Físicas												
		Contactos entre capas	Espesor de capas	Litología	Estratigrafía	Correlación	Discontinuidades (cavidades, fallas, fracturas)	Presencia / Contenido de arcilla	Tipo de arcillas	Identificación de minerales	Contenido de K-Th-U	Límite sedimentos / basamento	Mantos de grava	Cubierta de sedimento-basamento	Espesor de carbón	Detección de sulfuros	Frecuencia de fracturas (RQD aparente)	Resistividad de la formación	Perfiles de inyección	Análisis de permeabilidad	Porosidad (cantidad y tipo)	
GEOFÍSICA DE SUPERFICIE	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	✓	✓	✓	✓													✓				
	Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE)	✓	✓	✓	✓		✓	✓										✓				
	Tomografía de Polarización Inducida (TPI)						✓	✓	✓													
TOMOGRAFÍA SUPERFICIE - POZO [Resistividad Eléctrica]		✓	✓	✓	✓		✓	✓							✓		✓					
GEOFÍSICA DE POZO / PERFILES	Electrodo	Potencial Espontáneo (PE)	•	•	•	•		•									•					
		Resistencia puntual (RP)	•	•	•	•		•									•					
		Resistividad Normal Corta (NC): N3", N16"	•	•	•	•		•									•					
	Módulo / Fluj (usando)	Resistividad Normal Larga (NL): N32", N64"	•	•	•	•		•								•		•		✓		•
		Gamma Natural (GR)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓						
		Gamma Natural Espectral (NGS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓						
Cond. eléctrica y Temperatura (CEyT)																			□	□	□	
Molinete de alta resol. (HRFM)																			□	□		

I H L L A		APLICACIONES																				
		Litología y Estratigrafía								Prop. Físicas												
		Contactos entre capas	Espesor de capas	Litología	Estratigrafía	Correlación	Discontinuidades (cavidades, fallas, fracturas)	Presencia / Contenido de arcilla	Tipo de arcillas	Identificación de minerales	Contenido de K-Th-U	Límite sedimentos / basamento	Mantos de grava	Cubierta de sedimento-basamento	Espesor de carbón	Detección de sulfuros	Frecuencia de fracturas (RQD aparente)	Resistividad de la formación	Perfiles de inyección	Análisis de permeabilidad	Porosidad (cantidad y tipo)	
GEOFÍSICA DE SUPERFICIE	Sondeo Eléctrico Vertical (SEV)	✓	✓	✓	✓													✓				
	Tomografía de Resistividad Eléctrica (TRE)	✓	✓	✓	✓		✓	✓										✓				
	Tomografía de Polarización Inducida (TPI)						✓	✓	✓													
TOMOGRAFÍA SUPERFICIE - POZO [Resistividad Eléctrica]		✓	✓	✓	✓		✓	✓							✓		✓					
GEOFÍSICA DE POZO / PERFILES	Electrodo	Potencial Espontáneo (PE)	•	•	•	•		•									•					
		Resistencia puntual (RP)	•	•	•	•		•									•					
		Resistividad Normal Corta (NC): N8", N16"	•	•	•	•		•									•					
	Módulo / Fluj (usando)	Resistividad Normal Larga (NL): N32", N64"	•	•	•	•		•								•		•		✓		•
		Gamma Natural (GR)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓						
		Gamma Natural Espectral (NGS)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					✓						
Cond. eléctrica y Temperatura (CEyT)																			□	□	□	
Molinete de alta resol. (HRFM)																			□	□		

Tablas de aplicaciones de los distintos métodos usados por el grupo de geofísica



### **Recuerdos de un día histórico**

La cuenca petrolera neuquina mostraba desde 1918 en Plaza Huincul el primer oro negro en la Norpatagonia consecuencia de trotes técnicos de los geólogos Anselmo Windhausen y el alemán Juan Keidel manejando grandes posibilidades de la existencia subterránea de petróleo y gas. No se usaba prospección satelital ni camiones vibradores aún.

La cuenca neuquina se extendía por territorio rionegrino y por la zona de Villa Regina fueron los primeros y fracasados ensayos. Los viejos equipos de YPF entonces se mudaron a la cacica Bibiana (o Viviana) García en el norte rionegrino que se constituiría en la cuna del petróleo y gas. Peñas Blancas recibió con asombro a los esforzados “ypefianos” alojados en casillas de madera y rodantes trabajaban ocho horas diarias, veintiún días por tres de descanso. La mayoría tenían sus familias en Plaza Huincul, el traslado del personal se hacía con automotores de YPF o en taxis, y también el avión. Alrededor de quinientos habitantes de Catriel vivieron el impacto petrolero. Así lo narró un ex ypefiano que había ingresado a los 16 años a YPF como cadete en la sección geología y que “a los 18 era ‘cutinero’ (observador de muestras)”. “Al final de la columna sedimentaria se encuentran arenas impregnadas de petróleo. Pero tenían agua. La nueva perforación se decide en Catriel Oeste 1, como a 22 kilómetro de ese rumbo, septiembre de 1959. Catriel muy chico, pobre y lo más importante, la balsa en el Colorado”. Se perforaba el pozo y “en uno de esos ensayos apareció gas, importante cantidad, alrededor de 70.000 metros cúbicos por día.

Quince o veinte días antes de terminar el pozo, al retirar el 'packer' (herramienta de ensayo) vienen dos tiros de sondeo con petróleo... y la certeza de que habíamos descubierto un yacimiento y aunque no conocíamos su magnitud, se produjo gran algarabía". Fue el 20 de noviembre de 1959. Agregó el informante: "Después tuvimos idea de la importancia del yacimiento, porque era otro borde de la cuenca neuquina". Algunos testigos del descubrimiento fueron Luis León, Raúl Otaño, Vinet y el ingeniero Gatti del equipo de geofísica. Después, los viejos hierros buscadores del oro negro fueron reemplazados por equipos italianos. El éxito con aquel pozo en Catriel Oeste 1 alentó más perforaciones. Después la topografía rionegrina incorporaría El Medanita, Estancia Vieja, Medianera, Señal Picada, Puesto Zúñiga, Puesto Morales, Angostura Norte, Las Lagunas en el yacimiento Jagüel de los Machos y otros. El descubrimiento se produjo el 20 de noviembre de 1959, cuando Catriel tenía unos 500 habitantes. En 1970 ya vivían casi 7.000 personas<sup>23</sup>.

### ¿A modo de conclusión?

Es esperado consenso que en Argentina, profesionales e instituciones de la geofísica, asuman un rol activo respecto de las innovaciones, involucrándose manteniendo la responsabilidad ambiental requerida.

En efecto, se destaca el nivel de formación argentino, internacionalmente acreditado. Más allá de la disponibilidad de recursos, la investigación básica y la aplicación de la geofísica deberá avanzar en un desenvolvimiento según principios acorde a la regulación medioambiental y a lo que requiere la realidad social del país.

### Referencias

- 1 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://latindex.org/latindex/ficha?folio=2862>
- 2 Disponibles al 17 de octubre de 2021, artículos de la revista Geoacta de los últimos diez años, en [https://redib.org/Search/Results?filter%5B%5D=id\\_revista%3A%221442%22&type=AllFields&page=2](https://redib.org/Search/Results?filter%5B%5D=id_revista%3A%221442%22&type=AllFields&page=2)
- 3 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://www.canva.com/design/DAESsGsOfi8/hzylEZ3iASPBI6hJLMVtg/view?website#4:inicio>
- 4 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://drive.google.com/file/d/1eWNx640sYacSeYw8JUmtv5QeABjuHJ/view>
- 5 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://seg.org/about-seg>
- 6 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <http://www.aagg.org.ar/>
- 7 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://www.argentina.gob.ar/produccion/segemar>
- 8 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://fi.uba.ar/institucional/institutos-centros-y-escuelas/instituto-de-geodesia-y-geofisica-aplicadas-ing-eduardo-e-baglietto/proyectos-actuales>
- 9 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <http://fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar/~socgeof/historia.html>
- 10 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <http://medios.unt.edu.ar/noticia/noticias-unt/1730/geofisica-determinacion-limite-exterior-plataforma-continental-argentina>

- 11 Disponible al 17 de octubre de 2021 en:  
[https://www.researchgate.net/publication/317537102\\_Aplicacion\\_del\\_metodo\\_gravimetrico\\_en\\_el\\_margen\\_Argentino](https://www.researchgate.net/publication/317537102_Aplicacion_del_metodo_gravimetrico_en_el_margen_Argentino)
- 12 Disponible al 17 de octubre de 2021 en:  
[https://www.researchgate.net/publication/317537102\\_Aplicacion\\_del\\_metodo\\_gravimetrico\\_en\\_el\\_margen\\_Argentino](https://www.researchgate.net/publication/317537102_Aplicacion_del_metodo_gravimetrico_en_el_margen_Argentino)
- 13 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://www.youtube.com/watch?v=AbZayve5MAw>
- 14 Disponible al 17 de octubre de 2021 en [http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/geofisica/wp-content/uploads/2020/03/Tema-01\\_La-Ciencia-Geof%C3%ADsica.pdf](http://www.fcn.unp.edu.ar/sitio/geofisica/wp-content/uploads/2020/03/Tema-01_La-Ciencia-Geof%C3%ADsica.pdf)
- 15 Disponible al 17 de octubre de 2021 en [www.petrotecnica.com.ar](http://www.petrotecnica.com.ar)
- 16 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://www.conicet.gov.ar/santiago-perdomo-un-geofisico-que-colabora-con-el-equipo-argentino-de-antropologia-forense/>
- 17 Disponible, al 7 de octubre de 2021, la versión digital de la tesis mencionada en de Boujón, Pamela Silvana. (2014-11-14). Estudio de la contaminación de aguas subterráneas por métodos geofísicos e hidrogeológicos. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. UBA. [https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis\\_n5645\\_Boujon.pdf](https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5645_Boujon.pdf).
- 18 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://www.unicen.edu.ar/content/ars%C3%A9nico-en-el-agua-subterr%C3%A1nea-%C2%BFd%C3%B3nde-y-c%C3%B3mo-buscarlo>
- 19 A los recursos audiovisuales (videos de las conferencias y las presentaciones de los expositores) y a los documentos de consenso se puede acceder desde <http://as2019.com.ar/conferencias-2/> (al menos hasta el 17 de octubre de 2021).
- 20 “Medio ambiente y salud: cuantificando los peligros ambientales del arsénico, la exposición humana y los modelos de riesgo a la salud”. Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://ihlla.conicet.gov.ar/se-realizo-la-1reunion-de-arsenico-en-la-llanura-pampeana-as2019-en-azul/>
- 21 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://exactas.unsj.edu.ar/2018/11/13/64-anos-del-instituto-geofisico-sismologico-volponi-entrevista-a-francisco-ruiz/>
- 22 Disponible al 17 de octubre de 2021 en <https://ihlla.conicet.gov.ar/tabla-de-aplicaciones-del-grupo-de-geofisica/>
- 23 Disponible al 17 de octubre de 2021 en [https://www.rionegro.com.ar/recuerdos-de-un-dia-historico-KTRN\\_755528/](https://www.rionegro.com.ar/recuerdos-de-un-dia-historico-KTRN_755528/)

## Capítulo IX

### Entre la Argentina y los Estados Unidos: la obra del Dr. Juan G. Roederer

Jorge Norberto Cornejo  
Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)  
Sociedad Científica Argentina

#### Introducción: una breve biografía

El Dr. Juan Gualterio Roederer nació en Trieste, Italia, en 1929. Diez años después su familia emigró a la Argentina, donde Juan se doctoró en ciencias físico-matemáticas en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN) de la Universidad de Buenos Aires (UBA), en 1952. Después de una amplia trayectoria científica en la Argentina, y como consecuencia de la tristemente célebre “Noche de los Bastones Largos”, ocurrida el 29 de julio de 1966<sup>1</sup>, en marzo de 1967 el Dr. Roederer se trasladó a los Estados Unidos, donde reside actualmente.

Aquellos de nosotros que durante la década de 1980 estudiamos la carrera de Física en la FCEyN nunca podremos olvidar que preparamos Física I con “el Roederer”, es decir, con “Mecánica Elemental”, texto que, debemos resaltar, en la actualidad continúa plenamente vigente y sigue siendo recomendado y utilizado como bibliografía fundamental para los estudiantes de Física o Ingeniería. El Dr. Juan Roederer es autor de más de 250 artículos en revistas científicas y autor o editor de varios libros además del ya mencionado, entre ellos “Electromagnetismo Elemental”, otro texto esencial para los estudiantes. De todas formas, a quien esto escribe será “el Roederer” el texto que quedará siempre impreso en sus recuerdos.

Como toda obra o producción es siempre resultado de una idea, en un sentido muy amplio, prácticamente de una cosmovisión, es interesante conocer la visión del Dr. Roederer sobre lo que atañe a la ciencia y al conocimiento. En sus propias palabras:

*...and in the university some lower division physics courses because they only taught me what, where, and when, but never why. This longing for the why continued during my entire life, first as a science student, then as a science teacher and researcher.*

*I always preferred to explain old things rather than finding new ones. I always preferred pedagogy to discovery, ranking teaching higher than investigating. And in my teaching, I emphasized understanding more than knowing. I always preferred the foundations of a discipline to its applications. These most likely were the reasons for switching from experimentalist to theoretician early in my scientific career and for becoming an interdisciplinarian in science, branching into psychoacoustics and information theory—and also why as an academic*

*administrator like institute director or dean, I always preferred explaining to the public and politicians why we were doing what, rather than peddling funding agencies for more research dollars.*

*And in a more indirect way, it is the ultimate reason why I was so heavily involved during my entire career in international cooperation in science: If we wanted to find out why things happen the way they do in the geophysical world, we must ignore man-made boundaries.<sup>2</sup>*

Es decir, el pensamiento del Dr. Roederer puede sintetizarse en:

- la pasión por el conocimiento, definida como la búsqueda de los “*por qué*”. Probablemente sea esto lo que lo llevó, al igual que a otros investigadores, a interesarse por campos que exceden los límites de la física propiamente dicha.
- la necesidad de alcanzar una *comprensión* profunda de lo estudiado, que se relaciona con el hecho de colocar en perspectiva histórica cada tema.
- la gran dedicación a la enseñanza aunque, a pesar de su declaración, ello no impidió que el Dr. Roederer desarrollara una amplia actividad de investigación. Podríamos decir que el docente enriqueció al investigador, y viceversa.
- profundizar los *fundamentos* de las disciplinas, como principio básico y necesario, previo a toda aplicación, pues es necesario primero *comprender* para después *hacer*.
- el valor de la interdisciplinareidad, consecuencia de la búsqueda de los *por qué*.
- la importancia de la difusión y la divulgación de la ciencia en todos los estamentos de la población, lo que extiende la vocación docente más allá de las aulas o de un programa de estudios universitarios. Aunque no use explícitamente ese término, aquí se encuentra el principio de lo que se conoce como “*extensión universitaria*”.

Para quienes nos interesa la historia de la Física en la Argentina no puede faltar una referencia hacia este científico, aunque una parte importante de su obra se haya desarrollado en los Estados Unidos. Su influencia sobre la geofísica y ramas afines en la Argentina ha sido siempre fundamental, como testimonia la presencia del Dr. Roederer en numerosos congresos sobre la especialidad realizados en nuestro país.

El Dr. Juan G. Roederer accedió gentilmente a responder vía correo electrónico una breve entrevista, que transcribo a continuación.

**Entrevista realizada al Dr. Juan G. Roederer, en forma electrónica, el 15 de abril de 2020, en plena pandemia del coronavirus.**

**1. Estimado Dr. Roederer, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Hay tres disciplinas:

1. **Física Espacial** (radiación cósmica desde 1949 hasta aproximadamente 1961; física de anillos de radiación de Van Allen<sup>3</sup> y física de plasmas espaciales desde 1962 hasta el presente).
2. **Psicoacústica de la Música** (desde 1973 hasta aproximadamente 2008).
3. **Fundamentos de Teoría de Información** (desde 1996 hasta el presente).

## **2. ¿En qué instituciones las desarrolla o desarrolló?**

En:

Comisión Nacional de Energía Atómica (1951-1964).

Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA (1953-1966).

University of Denver (1967-1977).

University of Alaska, Fairbanks (1977-2014).

University of Colorado, Boulder (2016-presente).

## **3. ¿Qué lo llevó a interesarse por esas temáticas?**

En física espacial me introdujo, en 1949, quien fuera Jefa de Trabajos Prácticos cuando yo cursaba el segundo año de la carrera de Física en el viejo edificio de Perú 222, la Dra. Estrella Mazzoli de Mathov<sup>4</sup>. En psicoacústica, siendo organista, me empezó a interesar el tema<sup>5</sup>.

Y en teoría de la información fueron los cursos sobre biología informática en el International Centre for Theoretical Physics (ICTP), ubicado en Trieste, Italia.

## **4. ¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

En física espacial (radiación cósmica): en la Argentina, en 1948, Estrella Mazzoli y Waldemar Kowalewski comenzaron mediciones de rayos cósmicos con contadores Geiger-Müller en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales; al mismo tiempo, en el Observatorio Astronómico de Córdoba, Damián Canals-Frau comenzó a experimentar con placas fotográficas nucleares<sup>6</sup>. En 1949 la Universidad de Cuyo empezó con la construcción del edificio para un observatorio de rayos cósmicos en el Cerro Laguna. Lamentablemente, estos trabajos no prosperaron, y terminaron uno o dos años después de comenzados. En el resto del mundo hubo muchos investigadores que se ocuparon del tema, ya desde los años treinta.

En psicoacústica y teoría de la información: no hubo antecedentes en la Argentina; sí numerosos en el resto del mundo.

## **5. ¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en esas temáticas?**

En física espacial sí, mediante el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE). En los otros temas, que yo sepa, no hay tradición.

## **6. ¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Desde el comienzo, en 1949, ya interactuábamos con grupos en el exterior (Max Planck Institut für Physik, Alemania; Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas; Laboratorio de Chacaltaya, Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia).

## **7. ¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Los temas de psicoacústica y teoría de la información son, por definición, interdisciplinarios.

## **8. ¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Física espacial: la primera observación y estudio de lo que ahora se llama *Solar Mass Ejection* (eyecciones de masa solar, habitualmente conocido como *Coronal Mass Ejection*, eyecciones de masa coronal).

Psicoacústica: modelo numérico de un procesador neural de la sensación de altura de un tono; teoría sobre el origen de la evolución de música como by-product<sup>7</sup> de la evolución del habla humana.

Teoría de la información: definición de información pragmática<sup>8</sup> y su significado en física y biología.

### 9. ¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?

Física espacial: la disciplina de "Space Weather"<sup>9</sup>.

Psicoacústica: musicología actual, etnomusicología.

Teoría de la información: fundamentos de biología, genética, computación cuántica.

### 10. Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.

Este cuestionario evidentemente fue redactado para científicos argentinos en actividad en instituciones argentinas. Esto no se cumple en mi caso; entre 1949 (mis primeros pasos en investigación científica) y marzo de 1967 viví en la Argentina; desde 1967 hasta la fecha, en los EEUU. **Nota del autor:** de todas formas, como se dijo previamente, la importancia de la obra científica del Dr. Roederer y sus permanentes contactos con la Argentina justifican sobradamente el interés en su obra.

### Para cerrar...

Esto ha sido solo un pantallazo, y muy general, sobre la vasta obra del Dr. Juan G. Roederer. Preferimos no ingresar en complicaciones técnicas sobre su trabajo, sino mostrar los lineamientos generales del mismo y el pensamiento filosófico que subyace a la obra. Son muchos los científicos argentinos cuyo trabajo debemos rescatar, lo hayan realizado directamente en nuestro país o, por razones diversas, en el caso de Roederer relacionadas con los tristes eventos políticos que ha vivido la Argentina, en otros países.

Sea este breve artículo un reconocimiento para la obra de uno de esos científicos, nacido en Italia, educado en la Argentina, destacado como investigador en nuestro país y en los Estados Unidos, pero siempre recordado por quien esto escribe por haber sido el autor de "el Roederer".

### Agradecimiento

El autor desea expresar su agradecimiento a la Dra. Karen Hallberg, por haberle facilitado el contacto con el Dr. Juan Roederer,



El Dr. Juan G. Roederer, en una imagen reciente, cedida gentilmente por el Dr. Roederer al autor, y autorizando su publicación

## Referencias

- 1 Esa noche la Guardia de Infantería desalojó violentamente el decanato de la FCEyN, ubicado en esa época en Perú 272. Se encontraban reunidos el Consejo Directivo de la Facultad y los jefes de departamento con el decano, el vicedecano y otras autoridades. La Argentina se encontraba bajo el gobierno de facto del general Juan Carlos Onganía. Al respecto, agradezco al Dr. Roederer haberme facilitado el pre-print de su trabajo "Operación Esperanza. Agosto-septiembre de 1966", en el que relata los hechos acaecidos entre la Noche de los Bastones Largos y su partida hacia los Estados Unidos.
- 2 Roederer, J., "Space Physics from Both Ends of the Americas, 1949–2019", en: *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 2019, 124, p. 1-15. Lo traducimos como: "... y en la universidad algunos cursos de física de la división inferior porque solo me enseñaron qué, dónde, y cuándo, pero nunca por qué. Este anhelo por el por qué continuó durante toda mi vida, primero como estudiante de ciencias, luego como profesor de ciencias e investigador. Siempre preferí explicar las cosas viejas en

*lugar de encontrar otras nuevas. Siempre preferí la pedagogía al descubrimiento, considerando la enseñanza más alta que la investigación. Y en mi enseñanza, enfatice entender más que conocer. Siempre preferí los fundamentos de una disciplina a sus aplicaciones. Estos probablemente fueron los motivos para cambiar de experimentalista a teórico al principio de mi carrera científica y por convertirme en un interdisciplinar en ciencias, ramificándome en psicoacústica y teoría de la información, y también por qué siendo un administrador académico como director de instituto o decano, siempre preferí explicar al público y los políticos por qué estábamos haciendo qué, en lugar de venderlo a agencias de financiación por más dólares de investigación.*

*Y de una manera más indirecta, es la razón principal por la que estuve tan involucrado durante toda mi carrera en cooperación internacional en ciencia: si quisiéramos descubrir por qué las cosas suceden de la manera en que lo hacen en el mundo geofísico, debemos ignorar los límites creados por el hombre."*

- 3 Los cinturones de Van Allen son dos zonas de la magnetosfera terrestre donde se concentran grandes cantidades de partículas cargadas de alta energía, originadas en su mayor parte por el viento solar capturado por el campo magnético terrestre.
- 4 Es muy interesante la referencia que el Dr. Roederer realiza sobre la acción de la Dra. Mathov: *"Having smuggled samples of these nuclear emulsions from Brazil, some still unexposed, Estrella Mathov pilfered from somewhere a microscope and commanded us: "hands on!" This was an absolutely revolutionary proposition for an Argentine university of the time: Students were supposed to go to the university to attend classes, and professors were supposed to go there to teach them—but to do research and involving lower division students at that?"* (J. Roederer, "Space Physics..."). Traducimos: *"Tras haber contrabandeado muestras de estas emulsiones nucleares de Brasil, algunas aún sin exponer, Estrella Mathov robaba desde algún lugar un microscopio y nos ordenó: "¡manos a la obra!". Esto fue una propuesta absolutamente revolucionaria para una universidad argentina de la época: se suponía que los estudiantes debían ir a la universidad para asistir a clases, y se suponía que los profesores iban allí para enseñarles, ¿pero para investigar e involucrar a estudiantes de una división más baja en eso?"*. Es decir, la idea era que la relación con la investigación comenzara ya desde la época de estudiante, y que el alumno de física empezara a "vivir" la metodología científica.
- 5 Esta relación entre el arte de la música y la ciencia es muy interesante. Quien esto escribe conoce otros casos similares en la Argentina, de profesionales dedicados a ambas disciplinas.
- 6 *"La licenciada Estrella Mazzoli de Mathov, que era jefa de trabajos prácticos en las cátedras de Física elemental, de regreso de una reunión científica en Brasil, relataba con mucho entusiasmo los nuevos problemas y las nuevas técnicas en el estudio de la radiación cósmica, que surgieron después del fin de la segunda guerra mundial. Ella misma ya estaba trabajando con contadores Geiger Müller para su tesis doctoral. Alentó a los pocos estudiantes de física, entre los que me contaba, a familiarizarse con una nueva técnica de detección de partículas: las placas fotográficas nucleares. Estas no requerían una complicada y costosa electrónica. Eran simplemente placas fotográficas con emulsiones gruesas y de grano ultrafino, las cuales, una vez reveladas, muestran en forma de hilera de granitos de plata imágenes de las trayectorias de las partículas cargadas eléctricamente que las han atravesado. Estas 'trazas' se observan y miden con un microscopio óptico de gran aumento, y existen técnicas refinadas para determinar la carga eléctrica y la energía de las partículas que las originan."* Roederer, J. "Las primeras investigaciones de la radiación cósmica en la Argentina (1949-1959)", en: Ciencia Hoy, 2002, 12 (71), p. 38-48.
- 7 Un by-product o byproduct es un producto secundario de un proceso de producción, una reacción química o, como en el caso de la música, de un mecanismo de la evolución humana.
- 8 La información pragmática se entiende como el conjunto de conocimientos, creencias, supuestos, opiniones, etc. de un individuo en una interacción oral concreta. En esta disciplina también se estudian las modalidades del léxico utilizado en física, medicina, etc.
- 9 Space weather es una rama de la física espacial y la aeronomía, que comprende el estudio de, entre otros, el viento solar y las condiciones en el espacio que rodea a la Tierra, incluyendo la magnetósfera, la ionósfera, etc. Originalmente esta disciplina era conocida como "perturbaciones solares del espacio circumterrestre".

## Capítulo X

### La Física en el INTI

**Jorge Norberto Cornejo**  
**Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)**  
**Sociedad Científica Argentina**

**Nota:** este escrito está basado en el documento “Introducción Histórica”, entregado al autor por las autoridades del Departamento de Metrología Científica e Industrial del INTI.

#### La Física en el INTI

El INTI (Instituto Nacional de Tecnología Industrial) fue creado en 1957. Hay “muchísima física” en las actividades del INTI, pero aquí vamos a concentrarnos en una historia con la que se vinculó el Departamento de Física de esta institución y que es particularmente interesante: la metrología y los sistemas de medición. En el capítulo de Física Médica vimos la importancia que la definición correcta de las unidades de medida de las dosis de radiación tuvo para esa disciplina.

En la Argentina, el sistema métrico decimal fue adoptado legalmente en 1873 y ratificado en 1875 en la “Convención del Metro”. Esta decisión dio como resultado la eliminación de otros sistemas de unidades vigentes en la época.

Durante mucho tiempo, el organismo responsable de este tema en la Argentina fue la Oficina Nacional de Pesas y Medidas; cuyas actividades se encontraban principalmente dirigidas hacia el control de los instrumentos de medición utilizados en el comercio. Sin embargo, a partir de finales de la década de 1950 el avance de la industria mecánica requirió el desarrollo de sistemas más precisos y eficaces, y es aquí donde interviene el Departamento de Física y Metrología del INTI.

*“Puede afirmarse que la metrología industrial en nuestro país es una actividad iniciada y sostenida por el INTI hace más de cuarenta años”.* Para ello, en la década de 1960, el INTI obtuvo equipos y asistencia técnica proveniente de Francia y de los Estados Unidos. En 1968 se firmó un convenio, actualmente vigente, de vinculación con el Instituto Físico Técnico Federal (PTB, por su denominación en alemán), de Alemania. Este último acuerdo permitió al personal del INTI acceder a entrenamiento y capacitación y perfeccionarse en todo lo relacionado con la “física metrológica”.

Para desempeñar mejor sus actividades, el Departamento de Física del INTI se dividió en seis áreas, correspondientes los problemas relacionados con: mediciones mecánicas, eléctricas, electrónicas, acústicas, térmicas y ópticas. En 1972, sobre la base

de un proyecto desarrollado conjuntamente entre el INTI y la Secretaría de Comercio, se creó el SIMELA (Sistema Métrico Legal Argentino), constituido a partir del SI (sistema internacional), “*junto con ciertas unidades de otros sistemas de cuyo uso no puede prescindirse*”. A partir de ese momento, quedó bajo la órbita del INTI todo lo relativo a la “*custodia y actualización del SIMELA*”.

En 1979, el INTI constituyó, junto con doce instituciones equivalentes de América Latina, el SIM (Sistema Interamericano de Metrología), cuyo primer presidente fue el prof. Rafael Steinberg. Posteriormente, esta entidad aumentó considerablemente el número de países intervinientes.

En 1985 se creó en el INTI el Servicio Argentino de Calibración (SAC), actualmente Servicio Argentino de Calibración y Medición.

### El Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)

El **Sistema Métrico Legal Argentino (SIMELA)** es el sistema de unidades de medida vigente en Argentina, de uso obligatorio y exclusivo en todos los actos de medición públicos o privados. Está constituido por las unidades, múltiplos y submúltiplos, prefijos y símbolos del Sistema Internacional de Unidades (SI) y las unidades ajenas al SI que se incorporan para satisfacer requisitos de empleo en determinados campos de aplicación, es decir, aquellas “*ciertas unidades de otros sistemas*”, que mencionamos previamente. Fue establecido por la ley 1951 de 1972.

Las unidades del SIMELA pueden clasificarse en: unidades de base, unidades derivadas, unidades suplementarias y unidades que no se encuentran en el SI.

### Unidades de base

El SIMELA adopta las siete unidades de base del SI, que por convención se consideran dimensionalmente independientes:

Unidades de base			
Magnitud	Símbolo de la magnitud	Unidad	Símbolo de la unidad
Longitud	l	metro	m
Masa	m	kilogramo	kg
Tiempo	t	segundo	s
Intensidad de corriente eléctrica	I	ampere	A
Temperatura	T, $\theta$	celsius	K, °C
Intensidad luminosa	I <sub>v</sub>	candela	cd
Cantidad de materia	N	mol	mol

Además de la temperatura termodinámica  $T$  que se expresa en kelvin, se usa también la temperatura Celsius.

Cada una de estas magnitudes se define en forma muy precisa, por ejemplo, el segundo se define como la duración de 9192631770 períodos de la radiación correspondiente a

la transición entre los dos niveles hiperfinos del estado fundamental del átomo de Cesio 133.

### Unidades derivadas

Las unidades derivadas son las que resultan de productos, cocientes, o potencias de las unidades SI de base. Algunas unidades derivadas tienen nombres especiales y símbolos particulares. Aquí consignamos solamente las más significativas.

Unidades derivadas			
Magnitud	Unidad	Símbolo de la unidad	Notas
Área	metro cuadrado	m <sup>2</sup>	
Volumen	metro cúbico	m <sup>3</sup>	
Frecuencia	hertz	Hz	1 Hz=1/s
Densidad	kilogramo por metro cúbico	kg/m <sup>3</sup>	
Velocidad	metro por segundo	m/s	
Velocidad angular	radián por segundo	rad/s	
Aceleración	metro por segundo al cuadrado	m/s <sup>2</sup>	
Aceleración angular	radián por segundo al cuadrado	rad/s <sup>2</sup>	
Fuerza	newton	N	1 N=1 kg m/s <sup>2</sup>
Presión, tensión mecánica	pascal	Pa	1 Pa=1 N/m <sup>2</sup>
Viscosidad cinemática	metro cuadrado por segundo	m <sup>2</sup> /s	
Viscosidad dinámica	newton segundo por metro cuadrado	N s/m <sup>2</sup>	
Trabajo, energía o cantidad de calor	joule	J	1 J=1 N m
Potencia	watt	W	1 W=1 J/s
Carga eléctrica, cantidad de electricidad	coulomb	C	1 C=1 A s
Potencial eléctrico, tensión eléctrica, diferencia de potencial o fuerza electromotriz	volt	V	1 V=1 W/A
Intensidad de campo eléctrico	volt por metro	V/m	
Resistencia eléctrica	ohm	Ω	1 Ω=1 V/A
Conductancia eléctrica	siemens	S	1 S=1 Ω <sup>-1</sup> =1 A/V
Capacidad eléctrica	farad	F	1 F=1 A s/V

Flujo de inducción magnética	weber	Wb	1 Wb=1 V s
Inductancia	henry	H	1 H=1 V s/A
Inducción magnética	tesla	T	1 T=1 Wb/m <sup>2</sup>
Intensidad de campo magnético	ampere por metro	A/m	
Flujo luminoso	lumen	lm	1 lm=1 cd sr
Luminancia	candela por metro cuadrado	cd/m <sup>2</sup>	
Iluminancia	lux	lx	1 lx=1 lm/m <sup>2</sup>
Número de onda	uno por metro		
Entropía	joule por kelvin	J/K	
Calor específico	joule por kilogramo kelvin	J/kg K	
Conductividad térmica	watt por metro kelvin	W/m K	
Intensidad energética	watt por estereorradián	W/sr	
Actividad de una fuente radiactiva	becquerel	Bq	1 Bq=1/s
Dosis absorbida, energía impartida másica, kerma, índice de dosis absorbida	gray	Gy	1 Gy=1 J/kg
Dosis equivalente	sievert	Sv	1 Sv=1 J/kg

### Unidades Suplementarias

Las unidades suplementarias del SIMELA (radián y esterradián) son unidades derivadas sin dimensión, que se utilizan para formar otras unidades derivadas.

La 20<sup>a</sup>. Conferencia General de Pesos y Medidas de 1995 resolvió suprimir la categoría “unidades suplementarias” del SI, pasando a ser unidades derivadas; este cambio aún no está reflejado en el SIMELA.

Unidades suplementarias			
Magnitud	Unidad	Símbolo de la unidad	Notas
Ángulo plano	radián	rad	1 rad=1 m/m
Ángulo sólido	esterradián	sr	1 sr=1 m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>

### Unidades del SIMELA que no se encuentran en el SI

Estas unidades, que provienen de distintos sistemas, constituyen un conjunto heterogéneo que por ser no coherente hace necesario el uso de factores de conversión

distintos de 1 para relacionarlas entre sí. No deben ser empleadas fuera del campo de aplicación para el cual han sido indicadas.

Unidades del SIMELA ajenas al SI				
Campo de aplicación	Magnitud	Unidad	Símbolo de la unidad	Valor en unidades SI
Agrimensura	área	centiárea	ca	1 m <sup>2</sup>
	Área	área	a	10 <sup>2</sup> m <sup>2</sup>
	Área	hectárea	ha	10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
Astronomía	Longitud	unidad astronómica	UA	1,4959787 × 10 <sup>11</sup> m
	Longitud	parsec	pc	3,0857 × 10 <sup>16</sup> m
Electrotecnia	potencia aparente	voltampere	VA	W
	potencia reactiva	var	var	W
	carga eléctrica	ampere hora	Ah	3,6 × 10 <sup>3</sup> C
Física atómica	Energía	electrón volt	eV	1,60217733 × 10 <sup>-19</sup> J
	Masa	masa atómica unificada	u	1,66055402 × 10 <sup>-27</sup> kg
Química	concentración de materia (de sustancias)	mol por litro	mol/l	1 kmol/m <sup>3</sup>
Geometría	ángulo plano	grado sexagesimal	°	(π/180) rad ≈ 1,74533 × 10 <sup>-2</sup> rad
	ángulo plano	minuto sexagesimal	'	(1/60)° = (π/10800) rad ≈ 2,90888 × 10 <sup>-4</sup> rad
	ángulo plano	segundo sexagesimal	"	(1/60)' = (π/648000) rad ≈ 4,84814 × 10 <sup>-6</sup> rad
Gravimetría (Geodesia)	aceleración	gal	Gal	10 <sup>-2</sup> m/s <sup>2</sup> = 1 cm/s <sup>2</sup>
Industria y Comercio	energía	watt hora	Wh	3,6 × 10 <sup>3</sup> J
	masa	tonelada	t	10 <sup>3</sup> kg = 1 Mg
	presión	bar	bar	10 <sup>5</sup> Pa
	volumen	litro	l, ℓ, L	10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> = 1 dm <sup>3</sup>
Mecánica	velocidad	kilómetro por hora	km/h	(1/3,6) m/s ≈ 0,277778 m/s
	velocidad angular	radián por minuto	rad/min	(1/60) rad/s ≈ 0,016667 rad/s
	frecuencia de rotación	revolución por segundo	rev / s	s <sup>-1</sup>
	frecuencia de rotación	revolución por minuto	rev / min	(1/60) s <sup>-1</sup>
Medicina	presión sanguínea	milímetro de altura de columna de mercurio	mmHg	1 mmHg ≈ 133,322 Pa
Tiempo	tiempo	Día	D	86400 s
	tiempo	Hora	H	3,6 × 10 <sup>3</sup> s
	tiempo	minuto	min	60 s

Meteorología	presión	milibar	mbar	$10^2$ Pa
Navegación	longitud	milla marina		1852 m
	velocidad	nudo		$(1852 / 3600) \text{ m/s} \approx 0,51477 \text{ m/s}$
Radiaciones ionizantes	actividad	curie	Ci	37 GBq
	dosis absorbida	rad	rad	$10^{-2}$ Gy
	dosis equivalente	rem	rem	$10^{-2}$ Sv
	exposición a rayos X y $\gamma$	roentgen	R	$258 \times 10^{-8} \text{ C/kg}$

## Capítulo XI

### La Física y el Arte en la Argentina

Jorge Norberto Cornejo  
Facultad de Ingeniería (Universidad de Buenos Aires)  
Sociedad Científica Argentina

#### La Física y el Arte en la Argentina

*“Muchas veces, la ciencia transita aquellos caminos que supo merodear el arte” F. Manes*

Se ha escrito que: *“El arte y la ciencia son dos formas de conocimiento aparentemente alejadas, en gran medida consecuencia de la especialización profesional y la educación compartimentada. Del estudio de esta impostada separación surgió el estereotipo de las dos culturas, las ciencias y las humanidades, para referirnos a esa brecha de conocimiento. La realidad es que la ciencia y el arte sí están conectadas y que ninguna forma de conocimiento es impermeable a otra. Por poner algunos ejemplos: ¿Cómo podría crearse una obra plástica sin las técnicas propiciadas por la ciencia? ¿Cómo podríamos interpretar la elección de materiales?”<sup>1</sup>*

En efecto, a veces pensamos que la ciencia y el arte son dos actividades completamente diferentes, tal vez hasta opuestas. Sin embargo, han existido y existen científicos que, o bien han transitado senderos artísticos, o bien, de una u otra forma, han buscado una conjunción entre la ciencia y el arte. No es necesario remontarnos a Leonardo da Vinci, a quien incluso dudaríamos en calificarlo de “científico” en el pleno sentido de la palabra, porque aquí en Argentina tenemos varios ejemplos de ello. Por ejemplo, en 2019 el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) llevó a cabo un encuentro sobre la relación entre la ciencia y el arte. Durante el mismo, Mónica Pinto, Lic. en Ciencias Químicas, expresó: *“A los científicos nos permite incursionar en áreas que no son tradicionales y adaptarnos a este tipo de materialidades, tecnologías y formas de pensar para llegar a un lenguaje común. En nuestro caso nos llevó, por ejemplo, a incluir restauradores en el equipo para tener la otra mirada. A los peritos y conservadores les brinda herramientas científicas para los criterios de intervención y de evaluación de las obras de arte”<sup>2</sup>.*

Por otra parte, quien esto escribe en una época trabajó sobre la relación entre el arte y la matemática, entre la belleza de la forma y su expresión matemática, en la “búsqueda de patrones” geométricos tanto en la naturaleza como en los objetos construidos por la mano del hombre. Pero aquí hablamos de física, y también en nuestro país la física y el arte se han estrechado las manos en más de una oportunidad.

En tal sentido, cuando escribí el capítulo sobre Cosmología y Gravitación en la Argentina, consulté a la Dra. Cecilia Tomasini, que había realizado su tesis doctoral en el tema. Con suma generosidad, la Dra. Tomasini me compartió un sitio de Internet en

el que se encontraba su tesis de doctorado en Física y otras publicaciones suyas sobre esta disciplina. Con sorpresa, advertí que la Dra. Tomasini, además de Física por la Universidad de Buenos Aires, es Licenciada en Historia del Arte por la Universidad de Palermo, y ha escrito un muy interesante trabajo titulado *“La Física Aplicada al servicio de la Historia del Arte”*<sup>3</sup>. El primer párrafo de este trabajo afirma que: *“Durante las últimas décadas numerosas técnicas derivadas de la Física se han puesto al servicio de la Arqueología y de la Historia del Arte. Las aplicaciones de la Física varían desde la datación de piezas arqueológicas por el conocido método del radiocarbono hasta la desinfección de objetos valiosos mediante el tratamiento con radiaciones ionizantes. Entre las aplicaciones más interesantes se encuentra el análisis de obras de arte mediante métodos no destructivos”*.

En el referido trabajo la Dra. Tomasini describe el método “PIXE”, el cual consiste en irradiar una pintura, acuarela o dibujo con protones; estos estimulan transiciones electrónicas que dan como resultado la emisión de rayos X por parte de la obra irradiada. Analizando tal radiación X es posible conocer los elementos químicos que conforman la muestra irradiada. Cita el ejemplo del cuadro “Madonna dei Fusi” cuya autenticidad como obra de Leonardo da Vinci fue discutida durante mucho tiempo. El método PIXE detectó en la pintura la presencia de una substancia que, con toda probabilidad, fue empleada por Leonardo en sus trabajos, aportando así un sólido indicio sobre su autenticidad.

La Dra. Tomasini concluye su artículo con estas palabras: *“A modo de conclusión podemos afirmar que los avances de la Física no solo han favorecido el desarrollo de la ciencia pura. La Física aplicada, y en particular la tecnología de los aceleradores de partículas, han aportado grandes beneficios a la humanidad y han contribuido, entre otras cosas, a la conservación y al conocimiento más profundo de su patrimonio cultural”*.

Consultada por mail sobre el motivo que la condujo a reunir estas dos disciplinas aparentemente tan disímiles, nos respondió: *“Una vez que terminé mi Licenciatura en Física decidí hacer la Licenciatura en Historia del Arte ya que siempre me gustó mucho esa disciplina. Obviamente al reunir las dos formaciones fui convocada por distintos profesionales e instituciones relacionadas con el arte para investigar sobre temas que relacionan arte y física. Entre otras cosas, por encargo del maestro Raul Lozza escribí el libro “Una revisión a las relaciones arte ciencia en la obra de Raul Lozza” con prólogo del propio artista, que fue publicado por el Centro Cultural Borges. Recientemente me han solicitado investigar en el área de la arqueometría, que consiste en la aplicación de métodos físico-químicos al estudio y conservación del patrimonio cultural. Estoy desarrollando esas tareas paralelamente a otras investigaciones en cosmología y astrofísica que realizo en el Depto. de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.”*

Veamos, entonces, algunos proyectos, instituciones y actividades que relacionan la física y el arte en nuestro país.

### **El proyecto “ArqueoLab”**

Uno de los muy interesantes proyectos que en nuestro país relacionan la ciencia y el arte es el proyecto ArqueoLab. En sus propias palabras se definen de esta forma:

*“El proyecto marco ArqueoLab-UBA se define como un laboratorio cultural especializado en análisis e investigaciones arqueométricas, tecnológicas y virtuales aplicables a bienes culturales para su estudio, conservación, difusión y puesta en valor. El objetivo principal es investigar, conservar y difundir el conocimiento referente a los distintos aspectos del patrimonio cultural (tangibles, intangibles y virtuales). Dicho proyecto es una iniciativa desarrollada por un grupo interdisciplinario de investigadores de la Universidad de Buenos Aires, formados en Arqueología, Antropología, Conservación, Historia del Arte y especialistas en Patrimonio, que unen sus conocimientos para la creación de un laboratorio especializado en la temática. Nuestra actividad fue iniciada en el año 2018 con el objetivo principal de investigar, conservar y difundir el conocimiento referente a los distintos aspectos del patrimonio cultural material, inmaterial y virtual desde una mirada integradora.”<sup>4</sup>*

Por supuesto, aquí nos interesan las referencias a la física vinculadas con este proyecto. Por eso, citamos nuevamente a las autoras, que definen la arqueometría de la siguiente forma: *“Puede ser entendida como la aplicación de conocimientos, procedimientos y técnicas provenientes de las Ciencias exactas, las Ciencias Naturales y Ciencias de la Tierra, entre otras, en vinculación con las disciplinas sociales como la arqueología, la antropología, la sociología y la historia.”* Estas son algunas de las técnicas utilizadas en este grupo aplicando la física a la conservación y estudio del arte:

*Difracción de rayos X (DRX):* está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación. Los rayos X tienen longitudes de onda de Angstroms, del mismo orden que las distancias interatómicas de los componentes de las redes cristalinas. Al ser irradiados sobre la muestra a analizar, los rayos X se difractan con ángulos que dependen de las distancias interatómicas. En particular, el método analítico del Polvo al Azar o de Debye-Scherrer consiste en irradiar con rayos X sobre una muestra formada por multitud de cristales colocados al azar en todas las direcciones posibles. La difracción de rayos X es un método de alta tecnología no destructivo para el análisis de una amplia gama de materiales, tales como fluidos, metales, minerales, polímeros, catalizadores, plásticos, productos farmacéuticos, recubrimientos de capa fina, cerámicas y semiconductores. La aplicación fundamental de la Difracción de Rayos X es la identificación cualitativa de la composición mineralógica de una muestra cristalina<sup>5</sup>.

*Técnica QEMSCAN:* el haz de electrones de un SEM (*Scanning Electron Microscope*) incide sobre la muestra a analizar. Esto genera un conjunto de electrones dispersados (*backscattered electrons, BSE*) que son medidos para localizar partículas individuales dentro de la muestra. Como consecuencia de la ionización de los átomos presentes en la muestra, se originan orbitales electrónicos vacíos, que al ser ocupados por electrones de capas más externas dan lugar a la emisión de rayos X. Los espectros de rayos X obtenidos son comparados con una base de datos y de esta forma se identifican todas las fases minerales presentes en la muestra en cada espacio del material analizado<sup>6</sup>.

*Microespectrometría Raman:* se basa en los fenómenos de dispersión inelástica de la luz monocromática que a través de un láser interactúa con un sistema vibracional, produciendo la emisión de fotones en el rango de luz visible, el ultravioleta o el

infrarrojo cercano. Esta técnica en arqueología tiene muchas aplicaciones; una de las más usadas es para la caracterización composicional de pigmentos y mezclas pigmentarias de diseños de cerámicas arqueológicas, ya que se puede realizar sobre la superficie de los fragmentos sin dañarlos<sup>7</sup>.

## **El Centro de Arte y Ciencia de la Universidad Nacional de San Martín**

Sebastián Vereá, coordinador del Centro de Arte y Ciencia en la Universidad Nacional de San Martín, nos informó a través del correo electrónico: *“En relación a su consulta, nuestro Centro es una unidad relativamente reciente -fundado a fines de 2018- y se propone como un espacio para la investigación, producción y reflexión que funciona como marco académico e institucional de proyectos que vinculen el arte y la ciencia. Nuestro objetivo está puesto en el incentivo a esas prácticas y la documentación de los resultados y, fundamentalmente, de los procesos trans y a-disciplinarios que surjan de ellas.*

*Desde su fundación el vínculo con la física fue estrecho, dado que Daniel de Florian -físico e investigador de nuestra Universidad- fue parte del grupo fundador, y las primeras aproximaciones al campo de la física desde actividades del instituto estuvieron vinculadas sobre todo a la astrofísica, con la organización del primer congreso internacional de Arte y Ciencia ‘Los Cielos’, realizado en agosto de 2019.*

*Hoy estamos en continuo diálogo con el proyecto Andes -proyecto para la construcción de un laboratorio de detección de materia oscura debajo de la cordillera de los Andes, en el paso de Agua Negra-. Con ellos, sobre todo, venimos realizando desde 2019, convocatorias para la producción artística informada, alrededor del concepto de Materia Oscura. Algunas de esas producciones se han presentado en festivales internacionales de música y arte electrónico.*

*El único proyecto que, por el momento, podríamos encuadrar dentro de la física aplicada a la investigación artística es el que llamamos Proyecto Tanque. Se trató del trabajo de medición acústica de un auditorio de nuestro campus para realizar una convocatoria de obra de sitio específico, pensada para utilizar las propiedades acústicas del espacio. El proyecto lo hicimos con el área de Música Expandida.*

*Específicamente, no hemos desarrollado investigación en historia del arte con física aplicada desde el centro de Arte y Ciencia, hoy más enfocado en alentar el pensamiento transdisciplinar, aunque existen diálogos en curso que más bien podrían derivar en proyectos de producción e investigación artística.*

*Por otra parte, desde antes de la creación del centro trabajamos en proyectos relacionados a arte, cambio climático y antropoceno que, de alguna forma, se convirtieron en los proyectos fundacionales.”*

Le comenté a Sebastián Vereá que *“quien esto escribe no puede esperar un minuto más para poder ver cómo se visualiza la materia oscura desde el arte.”* Y me respondió enviándome las direcciones de los últimos trabajos presentados, que comparto con los lectores:

Daniel Roperto, *“El espacio en el medio”*:

<https://www.youtube.com/watch?v=x5b7pmCUtAo>

Juan Valente, "Fotón":

[https://www.youtube.com/watch?v=8T-KUyDppGI&feature=emb\\_title](https://www.youtube.com/watch?v=8T-KUyDppGI&feature=emb_title)

Nina Corti, "Oscilación Fantasma":

<https://www.youtube.com/watch?v=evR8RTEBHbE>

Nicolás Vázquez, "Búsqueda":

<https://nk01.bandcamp.com/track/busqu3da>

Los anteriores corresponden a convocatorias de los años 2019 y 2020, para 2021 se ha presentado, entre otros, el trabajo cuyo link es:

<https://vimeo.com/639761513>

### **El centro "MATERIA": historia y actividades**

*(información aportada al autor por la Dra. Eugenia Tomasini, Investigadora Adjunta del CONICET)*

El Centro de Investigación en Arte, Materia y Cultura (Centro MATERIA) fue fundado en 2014 por la Dra. Gabriela Siracusano, quien hoy lo dirige. Ella es investigadora principal del CONICET y profesora de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y la Universidad Nacional de Tres de Febrero (UNTREF). El Centro Materia es dependiente del Instituto de Investigación en Arte y Cultura "Norberto Griffa" (IIAC) de la UNTREF.

La Dra. Siracusano es doctora en Historia del Arte por la UBA y, durante las décadas del '80 y '90, formó parte de la Fundación TAREA, en relación con las actividades de investigación del patrimonio artístico colonial de Argentina, dirigidas por sus maestros José Emilio Burucúa y Héctor Schenone. Para la conformación futura del equipo de investigación fue fundamental la participación en el año 1987 en un proyecto para restaurar obras del patrimonio nacional colonial de la Academia Nacional de Bellas y Artes y la Fundación Antorchas, radicado en TAREA, a partir de su creación, y en el que junto a la Dra. Alicia Seldes, del Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la UBA comenzó a trabajar en forma interdisciplinaria para el estudio de los materiales en el patrimonio. En este proyecto participó la Dra. Marta Maier, química, quien hoy es co-directora del Centro MATERIA. En el recorrido hasta la fundación de MATERIA se han sumado investigadores tanto de las áreas de la historia del arte como de las ciencias exactas y naturales, así como también profesionales de la restauración y la conservación con el objetivo de profundizar y ampliar las líneas planteadas desde ese entonces.

Actualmente, el centro MATERIA de la UNTREF presenta varias líneas de investigación asociadas al trabajo interdisciplinario en torno a la materialidad en el arte y el patrimonio cultural, desde la historia del arte, la epistemología visual y antropología de las imágenes, hasta la aplicación de las ciencias exactas y naturales para el estudio de materiales del patrimonio cultural, biocultural e histórico, mediante técnicas analíticas no invasivas y microdestructivas.

Entre los objetivos del Centro MATERIA se encuentra el de promover la investigación científica sobre las diversas representaciones de la cultura visual presentes en el

patrimonio artístico y las múltiples materialidades implicadas en ellas, en pos de favorecer al conocimiento profundo acerca de los objetos, su condición físico-química imbricada en las prácticas culturales de su producción, distribución, consumo, y usos pasados y actuales, de modo tal de contribuir a su preservación para las generaciones futuras.

Los objetos que tienen significado para el patrimonio son de los más diversos y en general son creados con una gran variedad de materiales inorgánicos, orgánicos, naturales o sintéticos; además en muchos casos son complejos y se generan por esto distintas estructuras tridimensionales y de diferentes tamaños. A través de exámenes científicos, muchos problemas de carácter multidisciplinar han sido respondidos satisfactoriamente, como cuestiones históricas y arqueológicas como técnicas de ejecución, atribución, datación, procedencia; evaluaciones del estado de conservación de objetos u obras, optimización de condiciones para evitar o retrasar deterioros o alteraciones, así como el control del comportamiento de los materiales de arte durante y después de la restauración.

En este sentido las técnicas espectroscópicas y de imagen son especialmente útiles ya que la información obtenida permite comprender los materiales y técnicas de producción, el deterioro de los objetos y planificar su conservación. El desarrollo de equipamiento portátil y no invasivo hizo posible extender el estudio a piezas del patrimonio que no pueden transportarse al laboratorio y, en consecuencia, no pueden analizarse mediante instrumentos de mesada. La Espectroscopia de Fluorescencia de Rayos X (FRX) puede ser utilizada de manera *in situ* mediante un equipo portátil, como el que cuenta el Centro Materia, permitiendo, además, un análisis no invasivo, obteniendo información solo de la composición elemental, sin embargo, la presencia de ciertos elementos permite la identificación de materiales. La espectroscopia Raman es una técnica de análisis fotónica que nos permite conocer la información molecular de un material, ya sea orgánico o inorgánico, de manera inequívoca. Muchas veces estas técnicas usadas *in situ* no ofrecen resultados acabados pero permiten a los investigadores y restauradores a elegir el lugar adecuado para tomar una pequeña muestra y de esta manera lograr una mínima intervención de la pieza. El análisis no invasivo de las micromuestras tomadas puede hacerse directamente sobre su superficie o puede hacerse el análisis de cada una de sus capas, en lo que llamamos estratigrafía y en inglés es conocida como cross-section, que se trata de la micromuestra incluida en una resina polimérica para posteriormente poder obtener el perfil libre para analizar. El Centro MATERIA, posee amplia experiencia en el uso de la espectroscopía Raman e infrarrojas aplicadas a micromuestras y estratigrafías especialmente para la identificación y caracterización de materiales en obras y objetos del patrimonio del período colonial hispanoamericano. Las técnicas de microimagen, como microscopía de luz visible, UV y polarizada, o SEM, junto con la microespectroscopia infrarroja y Raman permiten el examen que revela detalles sobre etapas intermedias de la construcción del objeto. Aunque el muestreo es invasivo, las técnicas de microimagen y microespectroscopías en sí, no son invasivas, lo que permite realizar múltiples tipos de estudios en una sola muestra. Si bien, este tipo de estudios es dirigido por las

investigadoras de las ciencias exactas y naturales pero la propuesta de los problemas a resolver y la discusión de los resultados se realiza en forma interdisciplinaria con todo el equipo asociado a cada proyecto. Otra posibilidad de análisis involucra técnicas microdestructivas como las cromatográficas y las espectrometrías de masas, las cuales permite a partir de unos miligramos obtener información de compuestos orgánicos como colorantes y aglutinantes que pueden encontrarse en muy baja concentración y no pueden ser determinados por las técnicas nombradas anteriormente. Estas últimas técnicas se realizan en los laboratorios de la Dra. Marta Maier en Departamento de Química Orgánica de la FCEN-UBA.

Un ejemplo de trabajos que se están llevando a cabo en el Centro Materia en forma interdisciplinaria es el Proyecto titulado "Explosión matérica. Estrategias estéticas, técnicas y materiales en la obra de Antonio Berni entre los 50 y los 80", que cuenta con subsidios de la UBA, Agencia y UNTREF. Para este proyecto se realiza la identificación y caracterización de los materiales usados por el artista en obras del período, utilizando una combinación de técnicas analíticas como la espectroscopia de fluorescencia de rayos X portátil, espectroscopia infrarroja con reflectancia total atenuada (FTIR-ATR), microespectroscopia Raman y microscopia electrónica de barrido con detección de rayos X (SEM-EDX). También se usa la cromatografía gaseosa (CG) y cromatografía gaseosa acoplada a espectrometría de masa (CG-EM). Algunas técnicas fueron aplicadas *in situ*, en obras que se encuentran en el Museo Nacional de Bellas Artes, otras en el Centro Materia, en el INTI y en la FCEN-UBA.

Este tipo de proyectos se realizan desde el centro Materia en el marco de programas como en este caso el de "Investigación y museos" que tiene como objetivo el acercamiento a los equipos de los museos interesados por el problema materia. En un encuentro interdisciplinario pueden realizarse estudios e intercambios de conocimientos como en las experiencias realizadas con el Museo Nacional de Bellas Artes, el Museo Histórico Nacional, Museo Histórico Saavedra, Complejo Museográfico Provincial "Enrique Udaondo", y el Museo Etnográfico "Juan B. Ambrosetti" por nombrar algunos. Este programa además tiene en cuenta los convenios del Centro Materia con la FCEN-UBA y el INTI. Por otro lado, se tiene experiencia de aplicación de diversas técnicas en lo que son los servicios de restauración y conservación a espacios públicos y privados. El Centro Materia, además cuenta con una materioteca de arte moderno y contemporáneo que, de manera pionera en nuestro país y en Latinoamérica, provee a la comunidad artística y científica de datos útiles para su posterior procesamiento en proyectos futuros.

El equipo que lidera e integra el Centro MATERIA cuenta con más de veinticinco años de trayectoria y es hoy el referente más importante a nivel nacional, y uno de los más destacados en la región, siendo reconocido por prestigiosas instituciones internacionales dedicadas a estas temáticas.

## Referencias

- 1 Ver: <https://culturacientifica.com/2017/07/08/arte-ciencia-la-relacion-desarrollo-la-ciencia-la-creacion-artistica/>
- 2 Ver: <https://www.inti.gob.ar/noticias/18-institucional/1515-ciencia-y-arte-en-argentina>
- 3 M. C. Tomasini, La Física aplicada al servicio de la Historia del Arte, *Ciencia y Tecnología*, no indica el número ni el año, 37-43.
- 4 V. Acevedo y L. Staropoli, "Proyecto Arqueolab-UBA", documento entregado personalmente al autor de este capítulo.
- 5 V. Acevedo, L. Staropoli, C. Riera Soto, D. Soto, V. Herrera y L. Rossi, Avances en tecnología arqueométrica para el estudio de cerámicas arqueológicas del ámbito circumpeteno, *Anuario de Arqueología*, 12, 67-85, 2002.
- 6 L. F. Contreras Torres. *Caracterización mineralógica del proceso metalúrgico y su impacto en la producción de concentrados de Cuy Mo en CMDIC*. Memoria para optar al título de Geólogo., Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas departamento de geología. Chile, 2015.
- 7 V. Acevedo *et al*, Avances en..., 2002.

## Capítulo XII

### La formación de físicos en la UNC: procesos institucionales y figuras pioneras

Marcela Sosa  
Facultad de Filosofía y Humanidades – Universidad  
Nacional de Córdoba

#### La formación de físicos en la UNC: procesos institucionales y figuras pioneras.

Esta presentación expone los procesos múltiples concernidos en la formación de físicos en la Universidad Nacional de Córdoba, desde la creación del Instituto de Matemáticas Astronomía y Física -IMAF- en 1956, a su transformación en Facultad de Matemática Astronomía y Física -FAMAF- en 1983. <sup>1</sup>

#### De *instituto a facultad*: momentos y figuras en el proceso

Dirigimos la mirada, en este capítulo, a los procesos institucionales, disciplinares y de gestión, en tanto estrategias fundadoras del IMAF; desplegadas en un marco político e institucional permeado por los avatares de la universidad argentina y cordobesa, en una trama social, política y económica que atraviesa la sociedad argentina en las décadas del 50 al 80 del siglo XX. Comentamos los aspectos instituyentes que marcaron el desarrollo del Instituto hasta su transformación en facultad y distinguiremos períodos clave a manera de periodización, desde 1961, su reconfiguración en 1971 a partir de un cambio de conducción protagonizado por los que denominamos “pioneros”, su declinación desde 1974 hasta su recuperación en 1983 y su relativa estabilidad y crecimiento posteriores. Tenemos en cuenta la particularidad de la carrera, aunque consideramos la importancia que adquirió el pasaje de *instituto a facultad*.

En este desarrollo, nos detenemos en la figura de Alberto Maiztegui, como organizador de IMAF desde 1961; figura de importancia nodal en el funcionamiento institucional y en el desarrollo del grupo de Enseñanza de la Ciencia. Cobran también cierta significación los cambios edilicios, considerando que las variaciones de los lugares lo son también en tanto espacios de sociabilidad, a la vez que, indicadores de nuevas posiciones de las disciplinas y de su fortalecimiento institucional en el marco de la UNC<sup>2</sup>.

## ***Los inicios, inestabilidades y debilidades en los trayectos formativos***

La universidad inicia las actividades de IMAF, luego de la desvinculación de su creador, Enrique Gaviola, con un acto formal de apertura de las actividades del nuevo Instituto. Así recuerda el momento, Díaz Núñez<sup>3</sup>:

*(...) pronunció una conferencia sobre Radioastronomía el doctor Samuel Devone, profesor de Física de la Universidad de Manchester, Inglaterra. Dábamos clase en el Aula I de la esquina noroeste del edificio del Observatorio, donde actualmente está su Auditorio. Recuerdo con cariño esas clases en mañanas llenas de sol que iluminaban plenamente el aula. Bisoños como éramos no teníamos la más remota idea de lo que estábamos iniciando: el amanecer de una segunda etapa cuya imagen está actualmente reflejada en la coexistencia de instituciones como nuestra facultad, la de Ciencias Químicas, la de Ciencias Agropecuarias, el Instituto Mercedes y Martín Ferreyra y el Hospital Privado, nacidos todos bajo ese remezón de los años cincuenta. (1993, p. 126)*

En este relato, puede identificarse la asignación del valor de inaugural a una etapa que intenta inscribirse en una serie de creaciones ligadas al período posperonista<sup>4</sup> en la UNC, considerada *segunda etapa* para el autor, luego de la labor científica iniciada por Sarmiento en Córdoba. Es decir que esta nueva creación se reconoce en esa tradición científica, rasgo que se reitera en las diferentes cronologías realizadas del Observatorio de Córdoba y de la FAMAF.

La vida institucional se vio afectada, desde los inicios, por problemas presupuestarios y la falta de profesores que se hicieran cargo de los cursos programados. Fue designado en la dirección del Observatorio y del IMAF Livio Grattón, astrónomo italiano que se había desempeñado como responsable del Departamento de Astrofísica en el Observatorio Astronómico de La Plata y, al poco tiempo, fue reemplazado por Ricardo Plazcek, óptico experimental y astrónomo colaborador de Gaviola en el Observatorio. La tarea académica recaía en un grupo pequeño de profesores, apoyado por ayudantes alumnos y, desde el año 1960, figuran en esos listados profesores visitantes de diferentes universidades nacionales.

Sin dudas, el IMAF tenía dificultades para formar su cuerpo docente y, sin doctores para orientar la investigación, se hacía sentir el efecto de un instituto formado sobre la base del escaso personal existente en el Observatorio y en la FCEFYN. Es importante, entonces, considerar estas dificultades como síntoma de un modo de creación institucional, ya que se trató de la implantación de una carrera en un enclave extrauniversitario –el Observatorio–, cuya gestación no fue un desprendimiento de la física como disciplina desde la FCEFYN.

### **Alberto Maiztegui, el organizador**

La relación de Alberto Maiztegui (1920-2018) con el Observatorio de Córdoba se inició en 1946 cuando se incorporó a esta institución, animado por su interés en el estudio de la disciplina –recomendación formulada por Ernesto Sábato, quien fuera su orientador

en la Escuela Normal Mariano Acosta de Buenos Aires-. En efecto, la figura del joven Sábato, quien llegaba por entonces de París, en donde había realizado una estadía de estudio en el Instituto Curie, alentó a Maiztegui en sus decisiones al tiempo que lo convocó a concluir con el proyecto de un texto de física para escuelas secundarias.

Recuerda Maiztegui: *"me cautivaron sus ideas y expresiones, sus intereses (...) estuve de ayudante alumno con él (...) en esa época, año 1942, 1943, estaba en su crisis por dedicarse totalmente a la literatura."* (Ciudad Equis, 2015). Sábato, antes de su paso a la literatura, dejó escrito el primer tomo de un texto de física para escuelas nacionales de comercio y le ofreció completar ese trabajo a Maiztegui. Así, se publicó en 1946 *Elementos de física*, de Ernesto Sábato y Alberto Maiztegui. *"Fue mi introducción a la escritura de textos, eso se lo debo a Ernesto"*<sup>5</sup>.

Fue Sábato también quien recomendó a Maiztegui que tomara contacto con Enrique Gaviola en el Observatorio de Córdoba. *"Esa gente trabaja en la frontera de la física"* le habría indicado. Maiztegui evoca una fotografía en las escalinatas del Observatorio, de la reunión de la AFA a la que asistió en 1946: *"Éramos todos los físicos de la Argentina"*. En el año 1947, se incorporó al Observatorio como personal *ad honorem*, para ganarsela vida, dictaba clases de Matemática en el Liceo Militar General Paz.

Luego de la renuncia de Gaviola al Observatorio, en 1949, Maiztegui volvió a Buenos Aires y allí comenzó a escribir, junto a Jorge Sábato –sobrino de Ernesto– un segundo libro para estudiantes Secundarios: el popular *Introducción a la Física*, considerado uno de los textos más originales de abordaje a la materia. *"Lo escribimos cuando teníamos veintitantos y circuló por toda Latinoamérica... incluso hubo una edición en portugués. Tuvo más o menos 50 años de vigencia en las escuelas, y estimo que hemos llegado a ser leídos por unos 5 millones de chicos; eso es un orgullo legítimo que tenemos Jorge Sábato y yo."*

El texto publicado en 1952, *"era buena física –continúa–, con una presentación didáctica muy atrayente para los estudiantes. La virtud de la editorial fue no imponernos condiciones"*. (Ciudad Equis, 2015)

Maiztegui fue interrogado en diversas ocasiones acerca de su interés por la enseñanza, afirmando que *"no me he dedicado a la investigación en física. No he sido un investigador que produce papers, fui un organizador"*, y reconociendo además que su formación inicial en el Normal Mariano Acosta de Buenos Aires influyó en ese interés.

*Yo le tengo admiración y agradecimiento a la formación que nos dio la Normal Acosta. El cuerpo de profesores, era lo mejor que tenía la Argentina. Eran los mismos que tenían las facultades de Buenos Aires y de La Plata: Botana, Charola y Rey Pastor...Ellos nos formaron en esos cuatro años, nos dieron la formación suficiente para discutir e innovar en materia de enseñanza de la Física. Ernesto (Sábato) iba desde La Plata,...había un intercambio de profesores universitarios y secundarios que viajaban entre La Plata y Buenos Aires: Isnardi, Pedro Henríquez Ureña, el dominicano. (Cabanella y Utges, 2004, p. 86)*

Incluimos esta larga cita, para dar cuenta de la docencia en profesorado normales y escuelas Secundarias –particularmente escuelas industriales y colegios nacionales– como medio de vida para los físicos de la época, y para indicar la forma en que

Maiztegui legitima su trayectoria posterior dedicada a la formación docente, desde sus primeros tramos junto a físicos destacados.

El primer tomo del *Maiztegui-Sábado* apareció en marzo del 52, y el segundo tomo, en marzo del 55. Durante ese lapso, cursó la licenciatura, ya que se le reconocieron los dos primeros años por ser profesor en Física, y la última parte de quinto año debió cursarla como libre porque, como vimos, ya estaba trabajando en Bariloche con Balseiro.

En su relato, se destaca un aspecto de interés:

*Recuerdo que tenía 27 años de edad y Gaviola me decía que ya estaba viejo... 'usted es un pedagogo', me insistía (...) Y acertó, porque dediqué mi vida a la docencia y a la organización de la docencia, conectando el ámbito universitario de investigación con el mundo del docente de primaria y secundaria, con el objetivo de despertar vocaciones. Ese sueño lo he cumplido. (Moledo, 2010)*

### ***La impronta del Instituto de Bariloche***

Durante su estancia en Córdoba, entabló amistad con Balseiro, quien se había trasladado a La Plata para estudiar e investigar, y obtuvo el doctorado en Física. En 1950, con una beca del Consejo Británico, viajó a Inglaterra a proseguir sus estudios. A su regreso, convocó a Maiztegui para trabajar en el Instituto de Bariloche, en el que había sido designado director.

Así recuerda Maiztegui el proyecto de Bariloche:

*—A mí me gusta decir que fue una hermosa locura. En el contexto en el que se llevó adelante, fue un verdadero disparate. Por empezar, las universidades nacionales tienen ingreso irrestricto...en Bariloche, alejados de todo, se inaugura un instituto con un cupo de solo quince vacantes por año, becados, fuera de las condiciones universitarias normales de la Argentina. Y esa idea se desarrolló en un entorno político feroz. La decisión de inaugurarlos fue en marzo de 1955, en el Curso de Física de Verano en Bariloche. Yo era alumno de Balseiro en la UBA y él nos llevó al Curso. En marzo se decidió y en abril comenzamos la organización. 'No se dan las condiciones', nos decían. Claro que las condiciones eran todas adversas. El 16 de junio de 1955, desde la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) veíamos los aviones bombardeando la Plaza de Mayo y seguimos organizando todo como si nada sucediera —¿Y cómo se dio inicio a aquel curso?*

*—Entró Manuel Balanzat al aula y así empezó a dar clase, fue directo al núcleo, no hubo ni un acto, ni himno. Eso fue el 1° de agosto. Balanzat era una excelente persona y fue un pilar para Balseiro. Para el 16 de septiembre los gendarmes corrían con ametralladoras en el regimiento que está al lado del Instituto Balseiro, mientras por la radio seguíamos los acontecimientos (...) pregúnteme ¿qué hicimos los profesores?*

*—¿Y qué hicieron ustedes?*

*—Seguir dando clases. (Moledo, 2010)<sup>6</sup>*

Transcribimos este extenso fragmento de entrevista, realizada por Leonardo Moledo, por la elocuencia de Maiztegui para expresar el clima de época, las tensiones que

atravesó la experiencia inicial del Instituto Balseiro y la conducta manifestada por sus promotores, de mantener el proyecto alejado e inmune a los avatares políticos, aun en momentos de extrema gravedad institucional. Es indicador, además, del carácter particular de la vida del Instituto, opuesta al ambiente que, en ese momento, imperaba en las universidades nacionales y, en particular, en la UBA.

Describe su lugar en el Instituto como “muy modesto”, ya que aún estaba cursando el quinto año de la Licenciatura en Física: “*me licencié en 1956 y era adjunto de la Universidad de Cuyo. Era ayudante de Balseiro, también de Wolfgang Meckbach*” y “*simultáneamente, hice mi tesis de doctorado, que rendí en diciembre del 60*” (Moledo, 2010). Podemos observar cómo la trayectoria de Maiztegui, a diferencia de otros físicos de la época, siguió un curso particular, marcada por un tránsito local y con tiempos más dilatados, con respecto a otras trayectorias y del ideal formulado por Gaviola, respecto de la edad en la formación.<sup>7</sup>

### **Estrategias organizadoras, consagración a la institución y apertura de una línea de trabajo**

El 5 de junio de 1961, el HCS de la UNC autorizó la contratación de Alberto Maiztegui para el dictado con dedicación exclusiva de la cátedra Física General y de Laboratorio de Física. “*Creo que me vino del cielo la oferta para mudarnos a Córdoba*” expresó en la entrevista, aludiendo a las duras condiciones de vida que experimentaba su familia en Bariloche. Sin embargo, en su nuevo trabajo en la UNC, transitó por momentos fructíferos para la institución, así como años difíciles, desde los primeros tiempos de organización hasta la finalización de su período de gestión en el cual se expresaron diferencias políticas respecto de la conducción, que lo llevaron a presentar la renuncia en 1973. En ese momento, la institución se veía atravesada por los avatares de las políticas universitarias y sociales en Argentina.

Maiztegui, séptimo director del IMAF en el breve lapso entre su creación en 1956 y 1961, recuerda sus inicios: “*Había una inestabilidad total y no había rumbo. Tuve la suerte de acertar con los criterios para manejar el IMAF. Acerté en mostrarle al Consejo Superior los proyectos de manera clara*” (Moledo, 2010). Como hemos podido constatar a través del análisis de actas del Consejo Superior de la UNC, y en las historias del IMAF consultadas, las estrategias organizadoras desplegadas permitieron la graduación de los estudiantes, la mejora en las condiciones salariales de los profesores, la formación de investigadores, y la apertura de líneas de trabajo.

En diversos intercambios periodísticos, Maiztegui ha manifestado que su criterio fue tratar de *convencer autoridades y aprovechar oportunidades*. Una de las primeras tareas a las que tuvo que abocarse fue la de lograr la culminación de los estudios de los primeros ingresantes en 1957, que no podían cursar el quinto año por falta de docentes en Córdoba. Con ese fin logró la autorización del Consejo Superior por la que los estudiantes podrían completar el ciclo en las carreras de Buenos Aires, La Plata y Bariloche.

Asimismo, la tramitación de becas y de lugares de trabajo para la especialización fue una apuesta sustantiva para la inserción de nuevos docentes. Esta estrategia se vio favorecida por la existencia de planes de apoyo y colaboración de agencias estadounidenses y de organismos internacionales como la Unesco y que Maiztegui conocía y pudo capitalizar. Además, se reconocen en este conjunto de acciones emprendidas en el período las orientaciones formuladas en el marco de la Mesa Redonda de 1958<sup>8</sup>. De este modo, los recientes egresados podían acceder a distintos centros científicos de prestigio a nivel nacional e internacional –Estados Unidos, Francia, Inglaterra–, lo que permitió en poco tiempo fortalecer la actividad docente y de investigación.

Cuando Maiztegui llegó a Córdoba, el IMAF atravesaba graves dificultades. Él era el único profesor con contrato, pues los del resto habían caducado.

*Estuve doce años y pude organizar el IMAF. Tuve mucho apoyo de los distintos consejos superiores. Siempre me apoyaron... Conseguí la dedicación exclusiva de prácticamente el 95% del personal e inicié los primeros concursos para profesores titulares. En ese sentido, estoy muy agradecido a la Universidad de Córdoba, respondió muy bien a todas mis propuestas. (Cabanellas y Utges, 2004, p. 86)*

La debilidad inicial de la planta docente se vio disminuida paulatinamente a partir del incremento de docentes y auxiliares con dedicaciones exclusivas desde 1962, dado que gracias a la resolución RR. N° 331/61, comenzó a aplicarse el régimen de docencia con “dedicaciones especiales” en el ámbito de la UNC.

*Una cosa que me da mucho gusto recordar es toda la estrategia para nutrir al Instituto, formar su propio cuerpo de profesores, basada en el apoyo a los alumnos licenciados graduados acá. Logré ubicar numerosas becas en Italia, Suiza, Estados Unidos. Los mandaba a los muchachos con becas conseguidas de distintos lados pero con un “envío en comisión”, o sea, conservaban su sueldo, iban en comisión a concluir su tesis y luego volvían prácticamente todos. (Cabanellas y Utges, 2004, p. 87)*

Los primeros diplomas fueron entregados en 1962 a seis egresados y, en general, se continuó con el recurso de enviar a los estudiantes a otros institutos nacionales para la culminación de los estudios. En el IMAF era frecuente la presencia de visitantes y profesores provenientes de otros centros académicos que colaboraban en actividades docentes y de investigación, tal el caso de Guido Beck, a quien se contrató para que desarrollase cursos de Física Teórica y dirigiese los seminarios de Física. La presencia de visitantes extranjeros, amplió las relaciones con centros de investigación y permitió contactos para la radicación de becarios y de estancias de investigación. Por otra parte, se sostuvieron relaciones académicas con Ciencias Químicas a través del dictado conjunto de asignaturas, se consiguió el apoyo de la UNC para retener los cargos de los becados a fin de facilitar su reinserción y se obtuvieron becas de Conicet para estudios de doctorados en el exterior.

En forma similar al Departamento de Física de la UBA, se produjo la rápida incorporación de los egresados como jefes de trabajos prácticos y el aumento de

ayudantes alumnos en las diferentes materias, así como la participación de docentes de la FCEFN. En 1963, se firmó contrato para el dictado de Introducción a la Física de los Metales, por parte de la CNEA, bajo la dirección de Jorge Sábató y Alberto Guzmán lo que constituyó el origen de los actuales grupos de trabajo sobre física del estado sólido teórico y experimental.

Recién en octubre, por RR. 264, se dio ejecución por primera vez al conflictivo Art. 6° de la Ordenanza de creación del IMAF, redactada por Gaviola, por el que se concedieron becas de estudio por \$1000 mensuales a diez de los primeros alumnos.

La creciente participación estudiantil reclamó la flexibilización de las condiciones de cursado, se ordenaron normas reglamentarias sobre realización de trabajos prácticos y regularización de alumnos –probablemente impulsadas para aliviar las condiciones restrictivas propuestas en la reglamentación inicial– ya que era obligatorio presentarse a rendir todas las materias cursadas durante el cuatrimestre respectivo y mediante la Ordenanza N° 7/63, se permitió la admisión de estudiantes que adeudaran materias del cuatrimestre anterior. (Díaz Núñez, 1993, p. 139)

Con respecto a la conducción académica del Instituto, se contaba con un consejo de estudios e investigaciones con un docente por sección (Matemática, Astronomía y Física) que se renovaba periódicamente y, por Ordenanza N° 61 (HCS, 16-08-65), se dispuso que a las reuniones de este consejo podrían concurrir –con voz pero sin voto– un representante por estudiantes y otro por egresados. Por otra parte, el crecimiento del IMAF llevó a designar un vicedirector y a la creación de comisiones internas, y se conformó el Centro de Estudiantes y Egresados (CEEIMAF) con participación activa en procesos de democratización posteriores. (Díaz Núñez, 1993)

### ***Maiztegui, la enseñanza de las ciencias: apertura de una línea de trabajo***

En simultáneo al trabajo de organización del Instituto, Maiztegui fue una figura clave en una línea de trabajo centrada en el desarrollo de la enseñanza de las ciencias, que se había iniciado desde Conicet en los primeros años de la década de 1960. Tricárico (2010) destaca el lugar de este consejo, así como de Maiztegui en ese proceso. En efecto, en Conicet se creó la Oficina para la Enseñanza de las Ciencias, luego Departamento para la Enseñanza de las Ciencias, que se concentró en la organización de cursos de temporada para docentes de nivel Secundario de Biología, Física, Química y Matemática, a cargo de científicos destacados en ese momento. La idea consistió en la formación de líderes que, a su vez, contribuyeran a la formación de docentes capacitados en contenidos y metodologías de avanzada. Tanto este consejo como el Ministerio de Educación Nacional apoyaban estos emprendimientos, con la activa participación de Maiztegui desde la UNC.

Los cursos alcanzaron nivel internacional, como el “Seminario Latinoamericano para profesores de Física” en 1967, con el patrocinio de la Unesco y otras instituciones extranjeras. Es importante destacar la relación que Maiztegui estableció con la Unesco, en particular para el Proyecto Piloto “Física de la Luz” –marco en el que en

los años 1963 y 1964 se realizaron reuniones internacionales en São Paulo, Brasil, con el apoyo de Centro Latinoamericano de Física (CLAF) y de la División Educación de Unesco-. Estas reuniones fueron el germen de futuros grupos de investigación en la enseñanza, en diversos países latinoamericanos, como en el caso de IMAF, a la vez que se produjeron materiales para estudiantes y docentes, y técnicas de enseñanza y de “autoaprendizaje” que lograron difundirse.

Señalamos el papel que tomaría el INEC-Conicet (Instituto para el mejoramiento de la enseñanza de las ciencias) bajo la dirección de Ángel Hernaiz, a partir de la creación de divisiones en enseñanza por disciplinas (biología, química, matemática y física), y comisiones nacionales asesoras. Para el caso de física, nombres destacados formaron parte de la comisión (Cernucchi, Galloni, Giambiaggi, Maiztegui, entre otros).

Es en este marco institucional que se inicia la difusión y promoción de los denominados “Proyectos sobre enseñanza de las ciencias básicas” que se desarrollaban en Estados Unidos. INEC decidió tomar como referencia el proyecto IPS (Introducción a las Ciencias Físicas) para la formación de profesores de escuelas Secundarias, proceso que habrían seguido asimismo otros países como Uruguay, Chile, Colombia.

Se organizaron desde el INEC cursos para profesores, preparación de cajas de materiales de experimentación, traducción de textos, guías para docentes y estudiantes, así como según un convenio con CONET (Consejo Nacional de Educación Técnica) se emitieron programas de enseñanza por televisión.

Maiztegui organizó simultáneamente la primera Feria de Ciencias en la UNC en 1966. Instalada como un evento regular, desde 2014 esta feria adoptó en Córdoba el nombre de su fundador, Feria Provincial de Ciencia y Tecnología “Alberto Maiztegui”.

Desde el IMAF se organizó también el Primer Simposio sobre Enseñanza de las Ciencias en la República Argentina, en 1968, que reunió docentes, investigadores por disciplinas científicas y el núcleo de especialistas que luego conformarían grupos dedicados a las didácticas de las ciencias naturales. Desde 1991, se participó en la organización de las primeras Olimpíadas Argentinas de Física, que se continúan hasta la actualidad y en las que colaboran escuelas Secundarias, la Asociación de Profesores de Física de la Argentina, la Asociación Física Argentina y el Ministerio Educación de la Nación.

Cabanellas y Utges (2004) destacan su actividad pionera e instituyente de espacios de formación e intercambio para profesores e investigadores en torno a la educación en física y en la fundación de instituciones como Asociación de Profesores de la Argentina. Es decir que Maiztegui encauzó su trayectoria, desde una apreciación de sus posibilidades y oportunidades, y dio cuenta también de que la iniciación a la investigación en física debía hacerse tempranamente.

## **IMAF desde 1966, diferentes posiciones políticas e inestabilidad institucional**

A partir del golpe de Estado de junio de 1966, se sucedieron una serie de protestas contra la nueva irrupción militar, que se expresaron en asambleas estudiantiles

y movilizaciones, tomando como escenario distintas dependencias de la UNC, extendiéndose a partir del 29 de julio cuando se intervino a las universidades y, en particular, por efecto de los sucesos en la sede de la FCEN de la UBA. Esto provocó la generalización de las reacciones de protesta en las universidades nacionales. De acuerdo con Buchbinder (2005), luego del derrocamiento de Illia el 28 de junio de 1966, el Decreto Ley 16912, firmado por el general Onganía que suprimió el gobierno tripartito, disolvía los consejos y designaba a los rectores como interventores. Profesores e investigadores optaron por el exilio, incorporándose a institutos y universidades del exterior, procesos que en conjunto lo llevaron a afirmar que la experiencia renovadora de la UBA “quedó herida de muerte con la intervención” (p. 191). Las renunciaciones en otras universidades no fueron iguales, y algunos renunciantes de la UBA siguieron su carrera en otras universidades nacionales. Si bien la dictadura impuso sobre la universidad su sello autoritario, la intervención fracasó en el intento de reconfiguración y normalización de las universidades<sup>9</sup>.

Una nueva ley en 1967, la N° 17245, intentó sin éxito la regulación de la vida académica, iniciándose un movimiento de rechazo por parte de las agrupaciones estudiantiles a los intentos *limitacionistas* que se pretendían imponer a través de mecanismos de ingreso o cambios en las condiciones en la regularidad, así como el aumento en los costos de los comedores universitarios. Esto provocó movilizaciones en universidades del interior, en Córdoba y el Nordeste.

Según Buchbinder (2010), se estaba produciendo un cambio en los reclamos y discursos estudiantiles, mediante la formulación de críticas profundas a las estructuras del poder político y económico, y el cuestionamiento del orden universitario, acusado de ser funcional a los intereses de las clases dominantes. Las agrupaciones consideraban que el proyecto universitario debía consistir en la elaboración de un programa de transformación al servicio de los intereses de las clases populares y en contra del imperialismo. Al mismo tiempo, se operaba un importante crecimiento en la matrícula, que no fue acompañado en paralelo con el presupuesto asignado, lo que produjo el deterioro en las condiciones de trabajo y enseñanza.

En Córdoba, desde el 66, se hizo cotidiana la detención de estudiantes, las tomas de dependencias universitarias por parte de las agrupaciones estudiantiles y, en un clima de creciente conflictividad, las autoridades universitarias, suspendieron las actividades hasta agosto. En el IMAF, las diferencias se manifestaron entre Maiztegui y los docentes y estudiantes que apoyaban la huelga dispuesta para ese mes y, por medio de la Resolución N° 122/66 del 29 de agosto, el director dispuso el descuento de dos días de haberes a aquellos profesores que apoyaban la medida de fuerza.

Por otra parte, el Ministerio de Educación y Justicia dispuso la disolución de las agrupaciones estudiantiles, con lo que se vio afectado el conjunto de organizaciones, entre ellas el CEINMAF.

*Huelgas de hambre y manifestaciones callejeras se suceden en forma continua hasta que el 7 de septiembre es herido de bala en pleno centro de la ciudad, Santiago Pampillon*

*estudiante de Ingeniería aeronáutica y operario de Industrias Kaiser Argentina, quien muere en septiembre.* (Díaz Núñez, 1993, pp. 156-157)

A partir de ese momento se intensificó la reacción estudiantil y las autoridades universitarias interrumpieron las actividades hasta octubre. Situaciones similares se produjeron en otras universidades nacionales. Coria (2015), quien se concentra en los efectos del golpe de Estado de 1966, en particular en la Facultad de Filosofía y Humanidades y en la UNC en general, registra que desde ese momento se “instauró un nuevo clivaje en la vida institucional, y diversos actores *fijan posición* contra la pérdida de la autonomía universitaria y contra el autoritarismo dominante” y en ese sentido se expresaron profesores y Jefes de Trabajos Prácticos de IMAF. (Coria, 2015, p.261)

Al mismo tiempo, se produjeron renunciaciones que fueron ampliándose progresivamente, y se difundía que, en julio de ese año, se registrarían más de un millar en la UNC. Las autoridades universitarias en octubre decidieron la apertura de clases, lo que produjo un comunicado que molestó significativamente a los estudiantes, que decidieron, a su vez, mantener la huelga. Los profesores de las facultades de Filosofía y Humanidades y de Arquitectura se pronunciaron en contra de la pretendida normalización de las actividades, y manifestaron que se negaban “*a representar esta ficción: sin estudiantes, la labor docente carece obviamente de sentido*”. (Coria, 2015, p 265)

Esta autora plantea que la firma de este comunicado fue lo que justificó la exclusión de los profesores. La exclusión variaba según el grado de cumplimiento de los firmantes con sus obligaciones docentes de acuerdo con la normativa (los profesores recibieron sanciones clasificadas en: *separación del cargo, suspensión y remisión de antecedentes al Sr. Rector*). La formalidad fue un pretexto reglamentario, al decir de los profesores del IMAF que salieron en su defensa, firmando una nota publicada en La Voz del Interior el 16 de octubre de 1966.

Sin embargo, el conflicto docente continuó y las sanciones se extendieron a otras facultades. La nota publicada en *Los Principios*, el 27 de octubre de 1966, “Renuncia en el IMAF” se trató de la renuncia del vicedirector, Wladim Lubomirsky, como reafirmación de su protesta por la manera en que el rector había manejado, hasta entonces, el problema universitario.

El 6 de noviembre de 1966, el Centro de Estudiantes y Egresados del IMAF señalaba que las palabras sostenidas por el vicedirector

*...esconden toda una verdad: el régimen del engaño y la deshonestidad-palabras dichas por el renunciante- se ha adueñado de la Casa de Trejo. Todo este revuelo de opiniones, declaraciones y renunciaciones, ha dejado, sin embargo, indiferentes a grupos del cuerpo docente que no adoptan postura alguna frente a los graves hechos (...) Es el momento de hablar y hablar claro.* (Declaración del CEE-IMAF en La Voz del Interior. 6 de noviembre de 1966. En Coria, 2015, p. 268)

A partir de los hechos que se sucedieron luego de las sanciones, se hizo explícita la consolidación de grupos de profesores de diferentes facultades, entre ellas el IMAF, en

franca oposición a las medidas adoptadas. Las declaraciones antes señaladas ponen de manifiesto las tensiones en el clima institucional en el IMAF, afectado por renunciaciones, sanciones y diferencias entre la gestión de Maiztegui y parte del cuerpo docente que, como vimos, no respondió con unanimidad.

Por la situación de irregularidad en el funcionamiento de las diferentes facultades y carreras se tomaron medidas tales como, para el caso del IMAF, la suspensión de los artículos del reglamento que obligaban a rendir las materias del cuatrimestre anterior, para los cursos de 1967 y 1968.

De acuerdo con Tagashira (2010), en los sucesos acaecidos en el IMAF, se advierten algunas interacciones entre los componentes locales y nacionales que explican tanto la activa participación de los integrantes de esta comunidad académica en el movimiento social como las divergencias que se generaron en la institución. Si en Exactas de la UBA hubo un amplio consenso entre el personal y, particularmente, en el grupo dirigente para sentirse expulsados de la universidad y, de hecho, abandonarla, en el IMAF cordobés tal actitud causó una fuerte controversia. Los sucesos políticos desde el 66 provocaron enfrentamientos entre docentes, estudiantes y egresados, suspensiones y exoneraciones de profesores. El autor plantea la tensión entre el pragmatismo de Maiztegui y el modelo reformista de la UBA.

En la Sección Física *"habían sobrevivido a la debacle los núcleos de investigación en Radiación Cósmica<sup>10</sup> y en Física del sólido; y en Física del Sólido, ambos vinculados a CNEA, y el de Enseñanza de la Ciencia"* (Tagashira, 2012, p. 271)

Se abrieron líneas de investigación<sup>11</sup> y otras avanzaron con esfuerzo (Física Experimental-Estado Sólido, Espectroscopía de Rayos X y RMC), pues a los problemas presupuestarios se les sumó la emigración de docentes al extranjero. Física Teórica del Estado Sólido, Relatividad y de Partículas elementales, también se vio afectado por la movilidad de los docentes al extranjero, habiendo contribuido a ello también el programa de inmigración científica de Venezuela impulsado por el presidente Andrés Pérez, que atrajo a algunos investigadores cordobeses.

Gran parte de estudiantes y grupos de docentes, privilegiaban el compromiso revolucionario, denunciando la situación de dependencia, por lo que, para revertir la situación universitaria, se requería la transformación estructural, integrando la actividad universitaria a un proceso de liberación nacional.

La situación después del Cordobazo mostró los efectos políticos de la articulación del activismo obrero con el estudiantil. Asimismo, señala Tagashira (2010) que se inicia un proceso de pasaje en las universidades, desde las hegemonías de las antiguas tradiciones reformistas hacia otra vinculada directamente con el peronismo. Las agrupaciones estudiantiles comenzaron a definirse a partir de su identificación con determinados partidos políticos y la Revolución Cubana. La falta de canales institucionales de participación política provocada por los golpes militares y las rebeliones estudiantiles en Europa y Estados Unidos acentuaron la radicalización de los universitarios; un sector adhirió a las agrupaciones guerrilleras.

Las acciones se desarrollaban con dificultades de todo orden, en un clima de asambleas, oposición al examen de ingreso en 1970, protestas estudiantiles, enmarcadas también

en un discurso antiimperialista que, en Córdoba, tenía como destinatario concreto a los capitales extranjeros que comandaban la industria automotriz. Entre los miembros de la FAMAFA, se presentó la presión por reorientar la actividad científica y también críticas a líneas de trabajo acusadas de ser subordinadas al imperialismo y a sus intereses expoliadores, tal el caso de la impugnación a la Física Espacial, aunque a esta crítica se sumó el declive del interés de la investigación sobre los efectos de los rayos cósmicos en el instrumental y tripulación espacial y los profesionales del área cambiaron a otros temas de trabajo.

Se hacían evidentes en general, y en particular en la UBA, los límites de los procesos modernizadores: las tensiones dentro la universidad expresada en diferencias entre facultades, carreras y disciplinas y en torno a orientaciones curriculares y científicas. También se concentraban en cuestiones políticas, produciéndose la radicalización política y la opción por salidas revolucionarias, al contrario de las vías desarrollistas. Buchbinder (2010), plantea que se discuten los modos de comprender la figura departamental como forma organizativa, iniciándose una disputa más acentuada acerca del proceso modernizador, considerado ahora *cientificista*, y la recepción de subsidios externos comenzó a considerarse penetración imperialista. Las movilizaciones estudiantiles se incrementaron en contra de los exámenes de ingreso considerados *limitacionistas*, y se constituyó en factor de división en la comunidad académica, ocupando gran parte de los debates y discusiones.

El panorama universitario presentaba puntos de tensión y fracturas originadas en disidencias políticas que dividió a la comunidad académica; y “la universidad era foco de ataques por fuerzas identificadas con la derecha política, adquiriendo un peso cada vez mayor en las Fuerzas Armadas la doctrina de la seguridad nacional, lo que llevó a visualizar a la universidad y sobre todo a algunas facultades como centros de la infiltración revolucionaria”. (Buchbinder, 2010, p. 188)

### **Los procesos universitarios en un clima político y social convulsivo. El grupo de jóvenes pioneros en IMAF**

En ese clima institucional y social, la mayoría de los jóvenes egresados, 21 de 24, que habían ido a doctorarse al exterior por facilidades procuradas por Maiztegui, regresaron al IMAF entre 1969 y 1970 y, tal como había sido prometido, se incorporaron como profesores adjuntos de dedicación exclusiva y conformaron un grupo que además de fortalecer la planta –que por entonces se nutría de profesores de otras unidades académicas y un débil grupo local–, iniciaron un proceso instituyente, promoviendo una serie de acciones a la vez que el relevo en la conducción. Denominamos a un núcleo de estos profesores como “pioneros”, por tratarse de un conjunto de jóvenes doctores que, desde el interior del instituto y siendo egresados de él, por primera vez tomaron la conducción y elaboraron propuestas en forma independiente.

Este grupo diseñó un plan de estudios, implementado desde 1971. Instaló proyectos de investigación y organizó grupos de trabajo en sus especialidades –tres en física experimental y tres nuevos grupos en física teórica–. En los informes producidos

entre 1971 y 1972, se destaca la existencia de alrededor de treinta integrantes, más de 200 comunicaciones en revistas internacionales y presentaciones en las reuniones regulares de la AFA desde 1960.

Asimismo, era relevante la actividad en el grupo de Enseñanza de las ciencias, en el que colaboraban, en torno a Maiztegui, más de una docena de profesionales, la mayoría ingenieros. Además, se establecieron convenios y relaciones con las agencias nacionales específicas y de manera creciente con Conicet, comisión que aportó los recursos necesarios para la compra de instrumental, así como becas y apoyos para el creciente número de visitantes y estadias en el extranjero, sumados a los recursos provenientes de la UNC que fueron importantes, y los subsidios extranjeros.

El grupo de pioneros avanzaba en su decisión de fortalecer la enseñanza y la investigación a la vez que intentaba darle un giro a la gestión institucional. Queremos hacer notar aquí que se trató de un esfuerzo sostenido hacia el fortalecimiento institucional y de la disciplina, en un tiempo caracterizado por la lucha gremial y estudiantil, ya que a la conmoción del Cordobazo siguió, en 1971, una rebelión popular –el Viburazo– que determinó el relevo del segundo presidente de facto. En la provincia, en las elecciones de marzo de 1973, triunfó la fórmula Obregón Cano-Atilio López, identificada con la resistencia sindical y la izquierda peronista. (Tagashira, 2010)

Antes de la vigencia de la nueva Ley Orgánica de las Universidades Argentinas N° 17.245 de abril de 1967, *“algunas facultades e institutos de la UNC tenían regímenes de ingreso especiales, entre ellos, el IMAF, el Instituto de Ciencias Químicas, la FCEFYN y la Facultad de Ciencias Económicas. En el año 1970, el gobierno nacional estableció un examen de ingreso obligatorio que fue enfrentado por los estudiantes y apoyado por movimiento obrero, y que fue respondido con represión así como la participación de grupos armados de derecha”*. (Tagashira, 2010, p. 275)

Se instituyó con carácter común una prueba de ingreso, un *test* de 200 preguntas sobre matemáticas, ciencias sociales, ciencias biológicas y conocimientos científicos, con 50 preguntas por área. Los estudiantes debían responder correctamente al menos 20 de ellas para su aprobación. La oposición estudiantil se expresó pidiendo la eliminación del examen; tomaron facultades y el barrio Clínicas.

En el IMAF, los cambios académicos, políticos y administrativos provocaron divisiones, enfrentamientos y discusiones en torno a la presión por reorientar la actividad científica y el cuestionamiento a líneas de trabajo acusadas de estar subordinadas a intereses imperialistas.

En este ambiente institucional, se produjo la declinación de la gestión Maiztegui en 1973 y, si bien los nuevos profesores *“formados bajo su tutela, podían reconocer su capacidad de conducción; con el cambio de contexto, muchos de ellos también pretendían alinear el Instituto con algunas de las corrientes políticas en ascenso o simplemente gozar de mayor independencia académica”*. (Tagashira, 2010, p 276). Un grupo de estos docentes planteó al rectorado la condición de *“agotamiento de un modelo de conducción”*, situación que provocó la renuncia de Maiztegui, quien fue reemplazado en el cargo por un representante del grupo pionero.

Se debatían, asimismo, las políticas científicas bajo *el imperativo de orientar la investigación hacia los requerimientos del pueblo*, en consonancia con lo que ocurría en otros ámbitos universitarios y, en particular, en las facultades y carreras de ciencias básicas, referido a las políticas científicas y a la difusión de ideas y planteos del grupo Placted –uno de sus exponentes fue Oscar Varsavsky, quien había publicado en 1969, *Ciencia, política y científicismo*–, plasmando una revisión crítica del proceso reformista de UBA. Maiztegui rechazaba las acusaciones de “cientificismo” y, aludiendo a la situación de IMAF, censuró estos planteos –“lo llama investigación para qué”–, que identificaba justamente con el grupo que lo desplazó de la dirección. (Tagashira, 2010, p. 277)

En las asambleas de amplia participación llegaban a tomarse decisiones de índole académica, o solicitar por ejemplo “autorizaciones” para realizar estadías de estudio o investigación en Estados Unidos, cuestiones que provocaron diferencias profundas en el cuerpo docente. En el centro de estudiantes del IMAF, la democracia de base como modo de organización que se promoviera luego de las elecciones de 1973, fue una forma de conducción universitaria alternativa que se discutió también en algunas facultades.

Así relata un profesor ya jubilado, las disputas en las organizaciones estudiantiles de la época:

*en el año 69 participamos del Cordobazo, entramos en la lucha política (...) empezamos como centro de estudiantes, lo ganamos (...) siendo gestión del centro, pusimos la condición de alumno libre, peleamos los turnos de examen de agosto, negociamos el plan de estudios, que ellos lo hicieran como quisieran, pero a cambio algo (...) después lo perdimos (...) en la época más extrema (...) La disputa era o cuerpo de delegados o centro de estudiantes, nosotros estábamos por centro de estudiantes, fuimos a dos tres reuniones de grupos armados, porque era muy cerrado, la propuesta era ir al muere (...) estar, meterse, la vanguardia, y cuando están las condiciones tomar el poder, asamblea permanente (...) en las últimas asambleas, ganó lo del cuerpo de delegados, perdió lo del centro de estudiantes. Entrevista PA12*

En ese clima, en 1973, el IMAF cambió de dirección cuando Maiztegui presentó su renuncia por las diferencias políticas manifestadas ya desde la crisis del 66, y ante un evidente agotamiento de un modelo de conducción. Pero varias razones confluyeron a debilitar algunos grupos de investigación, particularmente los de física experimental, por cuestiones presupuestarias y por el éxodo de investigadores, que encontraban en otras facultades del país, o en otros países como Brasil, Venezuela o Alemania, oportunidades para continuar sus trabajos.

### **La universidad del 73 al 76: intervenciones, clima de represión y retroceso institucional. El IMAF bajo dependencia de la FCEFYN**

Las transformaciones operadas desde la asunción de Cámpora a la presidencia, liderada en el ámbito universitario por sectores de la Juventud Universitaria Peronista, estuvieron signadas por un clima de efervescencia política y por el peso

de las utopías de los sesenta, apoyado por gran parte de la comunidad académica. Las políticas universitarias ejecutadas desde mayo de 1973, formaron parte de una reforma interrumpida y que, de acuerdo con Friedeman (2015), sus logros y límites pueden explicarse por las disputas políticas al interior de la alianza gobernante. La reforma efímera operada en la UBA, particularmente, incluyó cuestiones tales como la ampliación del ingreso, la idea de una universidad “al servicio del pueblo” o de la “liberación nacional”, la producción de conocimiento para la solución de problemáticas sociales y la pregunta por la pedagogía y el sentido de la formación profesional.

El proyecto estaba simultáneamente sostenido por una visión dicotómica simplista y hasta ingenua de la realidad, no existía detrás de este proyecto una evaluación adecuada de las estructuras de poder, ni siquiera del vigente en las instituciones universitarias. A partir de 1974, el giro conservador y autoritario del gobierno de Isabel Perón forzó cambios sustantivos en los cuerpos directivos de las universidades. Desde agosto, Ivanisevich, identificado con los sectores más conservadores del peronismo, asume el Ministerio de Educación e interviene varias universidades. El exilio, provocado por la persecución y amenazas de la agrupación paramilitar Triple A, derivó en un nuevo vaciamiento en las universidades, provocado por las intervenciones durante varios meses, cesantías de docentes y expulsión de estudiantes, y secuestros y asesinatos como los realizados en Córdoba por el grupo comando Libertadores de América, en diciembre de 1975, que eliminó a nueve estudiantes. Estos sucesos son considerados la antesala del terrorismo de Estado de la dictadura de 1976. (Buchbinder, 2010)

El director del IMAF, Juan Carlos Gallardo, dejó el cargo a fines de 1974 cuando fue intervenida la UNC y puesto el IMAF, por decisión del Poder Ejecutivo, bajo la dependencia de la FCEFYN. Esto marcó un momento de retroceso en la ardua marcha iniciada a fin de lograr un ámbito propio de desarrollo científico. Cesantías y exilios de profesores produjeron un nuevo y fatal daño a la precaria planta docente, que experimentó, en 1976, la pérdida de la tercera parte de sus docentes.

Con el golpe de Estado a partir de marzo de 1976, las Fuerzas Armadas ejercieron el gobierno de facultades y dependencias universitarias, siendo posteriormente reemplazadas por civiles de extrema derecha. A los pocos días, la nueva Ley N° 21.276 dispuso que las universidades quedasen bajo el control del Poder Ejecutivo, suprimiendo los órganos de gobierno colegiados y prohibiendo las actividades gremiales y políticas.

El golpe dejó a Córdoba bajo el dominio del Tercer Cuerpo de Ejército, “una feroz maquinaria represiva que quebrantó a la UNC con el resultado de centenares de sus integrantes cesanteados, detenidos o asesinados”. (Servetto, 2004 citada por Tagashira, 2012, p.279), clima de terror, bajo el cual se produjo también el control de programas y bibliografía, la destrucción de bibliotecas y de las editoriales universitarias.

El plan de la dictadura incluyó reducir las dimensiones del sistema universitario, el cierre de carreras e instituciones, la redistribución de la matrícula, promoviendo a la vez hacia ámbitos extrauniversitarios las actividades de investigación.

Bajo la idea de que el sistema estaba sobredimensionado, se establecieron políticas de admisión que incluyeron un sistema de exámenes basado en la fijación de cupos

por carreras y facultades, y por la implementación de aranceles, lo que produjo, en consecuencia, una reducción considerable de las vacantes, llegando en Córdoba a un 60%.

En el IMAF se registraron al menos 15 docentes expulsados, en 1976, especialmente la Sección Física, que quedó reducida a un pequeño plantel de investigadores para sostener las actividades educativas y científicas. Los profesores más experimentados aumentaron sus cargas docentes a fin de cubrir las necesidades de cursado y se reorganizaron las líneas de trabajo que quedaron desmanteladas, en un clima de amenazas y sospechas que no aclaró por mucho tiempo. En agosto de ese año fue detenido y desaparecido el estudiante Daniel Sonzini, presidente del centro de estudiantes del IMAF, en cuyo homenaje, en la actualidad, la Biblioteca de la FAMAF lleva su nombre<sup>13</sup>. El vicecomodoro Néstor Pelliza, ingeniero aeronáutico, gobernó el IMAF durante un año como delegado militar. El instituto había vuelto al ámbito del Rectorado y, en 1977, las autoridades de la UNC propusieron al matemático Juan Tiraó para que se hiciera cargo de la dirección.

### **Los años ochenta: avances en el proceso de reconstrucción del sistema universitario y la transformación del IMAF a la FAMAF**

Como expusimos antes, algunos profesores experimentados debieron suplir a los ausentes y se reorganizaron las líneas de trabajo que quedaron desmanteladas como Partículas Elementales y Teoría del Estado Sólido. Profesores del grupo pionero se asociaron en proyectos de investigación desde 1977, constituyendo una base para la apertura de nuevos grupos en la década, y algunos de ellos ingresaron a la carrera de investigador de Conicet desde 1980.

Desde el año 1978, el desarrollo de recursos humanos fue beneficiado por Conicet a través de becas e ingresos a la carrera de investigador, siendo una fuente de estabilidad y fortalecimiento de las carreras académicas.

*En su momento, lo que no creció con la universidad, creció con el Conicet, los que no tenían cargos, tenían Conicet, y el mayor porcentaje del sueldo lo pagaba Conicet (...) con un cargo simple, tenían sueldo de investigador (...) Incluso en los momentos más graves del país, tenía más estabilidad, menos problemas si tenía Conicet, que en la universidad. (Entrevista PA)*

Desde 1980 a 1982, se registran 12 becarios por año y 19 investigadores (Tagashiro, 2010). Conicet brindó asimismo subsidios de equipamiento, financiamiento de académicos extranjeros y la por entonces creada Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Nación (SECYT) proveyó de subsidios a los equipos, y la vinculación con CNEA favoreció algunos grupos. También impulsó la actividad de investigación la creación del Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas de la Provincia de Córdoba (Conicor) en 1982, gestación que contó con la activa participación de Maiztegui.

A partir de 1982, como vemos, se produjo un *proceso de estabilización y crecimiento* al que contribuyeron estos organismos de promoción y financiamiento, por lo que nueve

integrantes del IMAF realizaron estadías en el exterior y dos en Argentina (siete de ellos eran egresados recientes) y, también, la conformación de grupos<sup>14</sup> que pudieron desarrollarse en el marco de la política científica y económica del régimen militar (Hurtado, 2010). Estos procesos también se relacionan con el espacio físico disponible en la UNC, como veremos más adelante.

### *La transformación en facultad*

La búsqueda de autonomía y jerarquización del instituto se plasmó entonces en el proyecto de transformación del IMAF en facultad. En la década del 80, el tiempo político auguraba cambios favorables a la democratización de las universidades, lo que derivaría en la posibilidad de participar en el gobierno universitario y por ende en la discusión de presupuestos y políticas.

El director Tirao, responsable de realizar la presentación de solicitud de creación de la Facultad, expuso los avances en el instituto a través de avales de sectores académicos y organismos nacionales e internacionales, destacando el otorgamiento de subsidios para la investigación por parte de Conicet y Conicor de becas, de apoyos para la realización de reuniones científicas, así como la existencia de convenios con unidades académicas y organismos y empresas diversas con las cuales se mantenían lazos para el desarrollo de actividades de docencia, investigación, asesoramiento, etc. (instituciones dependientes de las fuerzas armadas, como la Comisión Nacional de Actividades Aeroespaciales, la Escuela de Ingeniería Aeronáutica, dependientes de la Fuerza Aérea, instituciones ligadas a la producción industrial estatales y privadas, entre otras).

La solicitud Expdte 0383/4162, mostraba en conjunto, además, una planta docente fortalecida, de aproximadamente 120 docentes, más del 90% con dedicación exclusiva, que se sumaba a la presentación de la red de relaciones institucionales establecida por el instituto, exponiendo el prestigio alcanzado en la trayectoria del instituto y dando pruebas de las capacidades para las tareas que estatutariamente se prevén para las facultades en el marco de la universidad.

El trámite continuó favorablemente en las instancias de la UNC y luego se elevó al Ministerio de Educación para su consideración, organismo que no hizo lugar al pedido, argumentando que “se justificaría si la Universidad no tuviese una Facultad que abarcara el área de las Ciencias en cuestión. Este no es el caso de dicha universidad, ya que forma parte de su estructura, la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales” (En Zabala y de Carli, 2013, p. 281). La respuesta avanzó asimismo con dos propuestas alternativas; por un lado, se sugirió la dependencia del IMAF a la FCEFYN y, por otro, se propuso la creación de una Facultad de Ingeniería, que administrara las carreras de Ingeniería existentes al momento.

La tramitación continuó por vías no formales y, repentinamente, el general Reynaldo Bignone, presidente de facto, firmó el Decreto el 21 de noviembre de 1983, por el que se creaba la Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Según Zabala y de Carli,

*los miembros del IMAF se valieron de la oportunidad política que significaba la finalización de la dictadura, y sacaron provecho de vías ajenas a las tramitaciones burocráticas para no rendirse ante el propósito de convertirse en facultad y que la democracia que se avecinaba, los encontrara como miembros plenos de la comunidad universitaria.*(2013, p. 283)

En efecto, el 10 de diciembre de ese año, el presidente constitucional Raúl Alfonsín firmó el decreto de normalización de las universidades nacionales bajo jurisdicción del Ministerio de Educación Nacional.

En 1984, convertido ya en facultad, contaba con tres investigadores independientes de Conicet (siete adjuntos y ocho becarios) en la sección Física. Aunque, por diferencias internas, acerca de la dirección y de las prioridades, en la sección Física, los grupos integrantes no pudieron acordar la creación de un instituto dependiente Conicet. Esto fue concretado recién en el año 2007<sup>15</sup>.

Buchbinder (2010) señala que, en las universidades nacionales, los requerimientos de la normalización universitaria llevaron a realizar un masivo proceso de concursos y se fueron conformando las asambleas universitarias. Sin embargo, se diagnosticó una pobre producción científica, por efecto de la canalización de los recursos hacia organismos extrauniversitarios, ya que los recursos para la investigación fueron encauzados hacia organismos extrauniversitarios<sup>16</sup>.

Sin embargo, en el IMAF, como en otras facultades de formación en ciencias básicas, se produjo el acceso de las generaciones jóvenes formadas en el exterior, y se procuró el afianzamiento de los criterios meritocráticos para la valoración de los concursos, desterrando la discriminación por razones ideológicas. La investigación comenzó a ser impulsada desde las universidades, a partir de las creaciones de las secretarías de ciencia y técnica, del Sistema Universitario de Cuarto Nivel (SICUN) y un organismo coordinador, el Consejo Internuniversitario Nacional (CIN). Como señala Burchbinder, el entusiasmo del primer período alfonsinista decae cuando se produce *“la degradación de las condiciones políticas, institucionales y materiales y en 1988 los problemas presupuestarios se agudizaron, con el incremento de los niveles inflacionarios a principios de 1989”* (2010, p.217).

### ***La larga marcha por el edificio propio: una cuestión de espacio material y simbólico***

El proceso de expansión de carreras en la UNC desde 1956 hizo visible la escasez edilicia, por lo que las autoridades gestionaron la cesión de los predios en los que el peronismo había construido pabellones para residencias estudiantiles. El traspaso fue concretado en 1960 y, junto a otras cesiones de terrenos y edificaciones fiscales, conformó el espacio de la Ciudad Universitaria. (Tagashira, 2012)

Con respecto al espacio físico ocupado por el instituto, se había proyectado en 1959 la construcción de un edificio propio en terrenos del Observatorio, en calle Laprida, proyecto a cargo de la Comisión Permanente de Construcciones Universitarias, que

no se concretó. Tampoco se hizo efectiva la cesión del Pabellón Francia de la Ciudad Universitaria con cuatro hectáreas circundantes, como se había solicitado al crear el instituto. Es probable que el crecimiento de la matrícula en diferentes carreras, en contraposición al escaso número de ingresantes del instituto, desplazara en el tiempo la concreción del edificio.

Las clases se dictaban en diferentes lugares: en el Observatorio y en dos pisos facilitados por la Facultad de Agronomía. Nuestro entrevistado (PA) recuerda así esas transformaciones edilicias.

*Nosotros empezamos en el Observatorio, unos laboratorios de Morondanga, y la otra parte prestado en Agronomía (...) al año de entrar, a fines del 69, yo ya conocía a los alumnos de todos los años. Éramos muy pocos, y te encontrabas en uno u otro lado, convivíamos todos juntos.*

Esta cita remite a una cuestión clave al momento de caracterizar la experiencia de formación en el IMAF de aquellos primeros tiempos –que hoy recuerda con nostalgia–, en el lugar que alojó un grupo entrañable de compañeros y de profesores.

Sin embargo, destacamos aquí la importancia que para el instituto y luego la facultad adquiere la tramitación de las sucesivas construcciones y ampliaciones, lo que a nuestro criterio constituye un signo del reconocimiento y legitimidad institucional alcanzados y de capacidad de los equipos de gestión para la negociación de recursos presupuestarios en el seno de la UNC y otras agencias.

Recuperamos, en este sentido, tanto la perspectiva<sup>17</sup> del *espacio* de De Certeau (1996) –como espacio de prácticas y espacio practicado– y del *lugar* de Augé (1993) –como lugar simbolizado cargado de sentidos–. Ambos remiten al trabajo que allí se realiza, en tanto habilitador de determinadas prácticas y relaciones y a los sentidos adjudicados a ellas. Este enfoque contribuye a despejar los rasgos identificatorios, relacionales e históricos de los lugares, es decir, los ambientes construidos, que se ocupan, significan y practican socialmente, ligados a actividad específica que configura la identidad de esa actividad, a la vez que de los que la practican y en la que se constituyen sistemas propios de interacción.

Queremos remarcar aquí que el espacio-lugar IMAF simboliza para muchos de los profesores entrevistados un signo de precariedad y sacrificio de los primeros grupos. Pero también –y sobre todo para los físicos, que requieren que el espacio se especialice en talleres y laboratorios, distanciándose del aula habitual–, los lugares configuraban una experiencia de comunidad, ambiente de sociabilidad entre estudiantes y profesores y un conocimiento intenso de todos y cada uno, en el que se ponían en juego, destrezas, saberes y habilidades que adquirirían visibilidad.

Cuando aludimos a la larga marcha por la consecución del edificio propio, nos referimos al tiempo en que se prolongó la tramitación así como a un proceso investido por el sentimiento de lucha y de conquista por los diferentes grupos en el tiempo, a fin de alcanzar la independencia edilicia como signo de jerarquización de las disciplinas y de autonomía.

Como vemos, el crecimiento fue disparando la construcción de un edificio nuevo con oficinas y hemeroteca, entre el 80 y el 85. Y cuando se completó el edificio en 1994 y se trasladó la Sección Física a Ciudad Universitaria, lo único que quedó de la FAMAF en el Observatorio fue el Taller Mecánico de Precisión. De acuerdo con nuestro entrevistado, un edificio propio liberaría el espacio ocupado por la FAMAF en otras dependencias,

*esas negociaciones solo se podían hacer si estabas en el sillón del decanato (...) parte del crecimiento ha ido en paralelo con la cuestión edilicia, porque si vos pensás en grupos pero no tenés la parte edilicia no va (...) acá, aunque haya sido lento, siempre los full time, iban teniendo los espacios para poder hacer (...) así podés decir, me voy a vivir a la facultad.*(Entrevista PA)

Por otra parte, la UNC construyó edificios para lo que se denominó Área de Ciencias, integrada por la FCEFYN, la Facultad de Ciencias Químicas y la FAMAF. Recién en marzo de 1993, se inauguró el edificio central de la FAMAF. Finalmente, el 15 de noviembre de 1999, en el festejo del 43 aniversario de creación del IMAF, se inauguraron obras que permitieron integrar por *primera vez* gran parte de las secciones de Física, Matemática, y Computación<sup>18</sup>. El edificio se siguió ampliando y acondicionando, y constituyó una de las tareas claves de las sucesivas gestiones decanales la cuestión del acondicionamiento de espacios, laboratorios e instalaciones, hasta la actualidad.

A lo largo de este capítulo, hemos abordado momentos institucionales de crisis y estabilización en los que se manifestaron las tensiones y presiones ejercidas sobre la vida institucional, por la conflictividad social y política, de las décadas del sesenta y setenta. Hemos intentado relacionar esos avatares con los procesos de organización y diferenciación institucional, así como las estrategias desplegadas por las comunidades, en especial, la de los físicos. Vimos que a la figura del organizador Maiztegui le siguieron los que denominamos pioneros, que iniciaron un modo de reproducción académica, conformada por el estudio intensivo, el viaje de doctorado a un centro extranjero reconocido y la posterior inserción como docentes, junto a la formulación de un plan de estudios cuya permanencia por décadas es indicadora del reconocimiento de sus promotores, así como de una estructuración de los estudios que acompañan la trayectoria ideal propuesta.

Si, como plantea Tagashira,

*las peripecias que debió soportar el IMAF se ilustran mínimamente si consideramos que antes de ofrecer su primera clase había perdido a su promotor y fundador, el físico argentino más importante del momento, que a diez años de inaugurado se desprendió de más de la mitad de su plantel docente y que antes del golpe militar de 1976 ya estaba sufriendo la tragedia que azotó el país y sus instituciones, donde se terminó malogrando más de la tercera parte de sus investigadores.* (2010, p. 285)

También debemos remarcar que los sobrevivientes a esos embates no descuidaron la idea de formar investigadores y de alcanzar un lugar de reconocimiento en la UNC.

Podemos señalar que los procesos se transitaron con fuertes discrepancias internas, que ese pasado reciente no está libre de polémicas –sobre todo acerca del perfil de la carrera de físico y de sus egresados– en las que resuenan, con variaciones según las épocas, las discusiones acerca del denominado *cientificismo*, o de la necesidad de poner en cuestión los *usos sociales de la ciencia* y su adecuación a las *necesidades nacionales*.

Por otra parte, hemos observado el desarrollo dispar de las instituciones según su localización geográfica y sobre todo las distancias existentes con centros de gravitación tales como CNEA. En este sentido, pueden constatarse los desarrollos desiguales del IMAF y otros institutos con respecto al Instituto de Bariloche, o del Departamento de Física de la UBA, lo que deja en evidencia la alta dependencia del desarrollo de la física con respecto a los recursos, sobre todo para la física experimental. Estas diferenciaciones están relacionadas con –además de los recursos disponibles provenientes de agencias extrauniversitarias– las particularidades de la arquitectura organizacional, es decir, cuando el desarrollo de la física se realiza en el marco de un departamento de una facultad de ciencias exactas, se está ante un desprendimiento producido en búsqueda de su especificidad de formación e investigación, pero encuentra en ese marco determinadas facilidades funcionales, que en el caso del IMAF, no existieron.

La escasez de profesores al inicio, la debilidad de una tradición, los problemas presupuestarios y edilicios, el bajo número de aspirantes a la carrera y la pérdida de estudiantes, egresados y profesores en determinadas épocas permiten afirmar que, durante décadas, el instituto presentó signos de fragilidad.

En otro orden, quedan pendientes estudios comparativos que arrojen conocimiento acerca de la forma institucional más adecuada –*departamento, instituto, sección*– para el desarrollo de la formación en ciencias exactas y naturales y, en particular, de la física, así como entre facultades, departamentos e institutos de física y sus relaciones con las carreras de Ingeniería en las universidades nacionales. Interesa particularmente a los fines de los trayectos formativos que se delinean, las sinergias que pueden establecerse entre los énfasis formativos, las tensiones entre formación profesional y disciplinar, así como las disputas e indefiniciones vigentes acerca de la formación científica básica o aplicada.

## Referencias

- 1 Estos aspectos han sido desarrollados en Sosa, M (2019) “Estilos Académicos y Experiencia Formativa en la universidad. La formación de físicos en laUNC.Tesis doctoral, dirigida por Sandra Carli, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad de Buenos Aires
- 2 Para esta reconstrucción nos hemos informado a través de diversas fuentes, tales como documentos y normativas institucionales, sitios web institucionales, notas de divulgación, entrevistas a actores clave, el recurso de los “libros documento” –como son estos textos producidos en recuerdo y homenaje, tales como los ya citados de Bernaola y Díaz Núñez–, que contienen valiosa documentación y, a la vez, testimonian los sentidos que asumieron para los protagonistas

ciertas figuras y sus experiencias de formación. Sin embargo, debió realizarse una doble lectura permanente de ellos, en tanto documentación y relato, para despejar el tono mítico y la linealidad de esas historias.

- 3 Díaz Núñez, autor del libro *Educación y Ciencia en Córdoba. Génesis del IMAF (1573-1990)*, ingeniero que ingresó a IMAF como auxiliar docente en la carrera, en el año 1957.
- 4 La Asamblea Universitaria de abril de 1959 decidió crear la Facultad de Ciencias Químicas sobre la base de la Escuela de Farmacia y Bioquímica, aunque desde sus inicios funcionó como instituto. El autor menciona que fue propuesto como docente del instituto recientemente creado, y menciona que se inició una colaboración entre los institutos que se sostuvo en el tiempo. Asimismo, relata su participación en los cursos preparatorios, “primeros en realizarse en la UNC después de la Revolución de 55”. (1993, p. 136)
- 5 *La Voz del Interior*, Ciudad Equis(31/12/2015). [www.lavoz.com.ar/ciudad-equis/fisico-privilegiado](http://www.lavoz.com.ar/ciudad-equis/fisico-privilegiado)
- 6 Moledo, L. (21 de abril, 2010). Devoción por la física. *Página 12*. Disponible en [www.pagina12.com.ar/diario/ciencia/19-144262-2010-04-21.html](http://www.pagina12.com.ar/diario/ciencia/19-144262-2010-04-21.html)
- 7 Maiztegui se licenció a los 36 años y se doctoró a los 40 años.
- 8 En la sede de Conicet se reunió, en noviembre de 1958, la *Mesa redonda sobre la situación actual de la física en la Argentina*, convocada con la finalidad de considerar el estado de situación de los estudios y la investigación y promover su orientación. Ingmar Bergstrom, físico sueco residente en Argentina como parte de la misión de Unesco en el país, fue un invitado especial, y participó en la reunión de especialistas de física e ingeniería de Buenos Aires, La Plata, Córdoba, Tucumán, del Sur (Bahía Blanca), CNEA y del Instituto de Física de Bariloche. El informe fue reconocido como clave para la definición de líneas de trabajo y publicación porque conformó una serie de acuerdos programáticos, centrales para el desarrollo de las instituciones y el fortalecimiento de la disciplina
- 9 Buchbinder (2010) considera que el ambicioso objetivo no logró cumplirse: compatibilizar la expansión de la matrícula, la conformación de una universidad científica, las necesidades derivadas del desarrollo regional y la despolitización llevaron a la generación de un proyecto denominado Plan Taquini, que procuraba la descentralización de las universidades, el estímulo de las carreras de Ciencias Exactas y Tecnología, que agrupaban en ese momento el 15% de las universidades. Los planes contemplaban, en consecuencia, la creación de universidades a escala local y regional organizadas en departamentos y que no incluyeran carreras tradicionales.
- 10 (Este grupo pudo participar del auge de la Física Espacial Argentina estableciendo vínculos con el Centro Nacional de Radiación Cósmica, uno de los primeros Institutos de Conicet formado en 1960 con investigadores de CNEA y UBA, con los grupos de La Plata y Tucumán y con la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales -CNIE de la Fuerza Aérea Argentina- y con la Comisión Nacional de Estudios Geo-Heliofísicos, CNEGH, creada en 1968 con apoyo de Onganía)
- 11 En 1968, Pisanetsky fue designado titular de Física, estableciendo en IMAF una línea de investigación en Resonancia Magnética Cuadrípolar (RMC) que evolucionó bajo su dirección hasta que emigró a mediados de la década siguiente. (Tagashira, 2010)
- 12 Con la sigla **PA** identificamos a este profesor ya jubilado, quien fuera estudiante en el año 1969, y que entrevistamos en tres oportunidades.
- 13 *“Daniel era mi hermano mayor. Fue al secundario en el colegio La Salle y hasta cuarto año fue seminarista. Cuando se lo llevaron tenía 21 años, era estudiante avanzado de Física en la Universidad Nacional de Córdoba (la biblioteca de Famaf lleva el nombre de Daniel Sonzini), era el presidente del centro de estudiantes del entonces Instituto de Matemáticas, Astronomía y Física (Imaf, hoy Famaf), colaboraba con el cura Guillermo “Quito” Mariani construyendo viviendas sociales en la villa y era militante Montonero”.* Habla Hernán Sonzini, hermano de Daniel Sonzini Whitton, quien fue secuestrado en 1976, en una nota periodística del 10 de mayo de 2007, para el sitio web *Resumen de la región*.
- 14 Resonancia magnética nuclear (Brunetti), Ciencias de los materiales (Bertorello), Espectroscopía atómica y nuclear (Mainardi), Relatividad y Gravitación (Hamity) Teoría de la Materia condensada (Prato) Física de la atmósfera (Caranti) y Tiraio reemplaza a Maiztegui en ese año en el Grupo de Enseñanza.
- 15 Por convenio con Conicet, en el instituto se creó un Centro de Investigación y Estudios de Matemática (CIEM), a instancias del director Tiraio, quien a su vez promovió la creación de un

- centro similar de Física, que no pudo concretarse en ese momento.
- 16 Delich para la época afirmaba que se encontraba con una universidad de masas, sin investigación, con orientaciones profesionalistas acentuadas, problemas edilicios, deterioro en las condiciones de formación de sus profesores, todo agravado por la explosión que experimentó la matrícula, para el caso de la UBA, en este período. (Buchbinder, 2005)
  - 17 Para De Certau (1996) el espacio se remitiría, más que a lo físico, a las “operaciones”, atribuidas a lugares físicos, que especifican espacios, como lugar animado por las acciones que se despliegan en él, es existencia y lugar practicado. Marc Augé (1993) define lugares cuando se refiere al espacio simbolizado. Ambos remiten finalmente a un espacio lugar, identificado y que identifica, cargado de sentidos por quienes lo practican identifican y habitan.
  - 18 En el acto, se informó sobre el detalle de lo construido: Aula Magna, con capacidad para 140 personas; Sala de Sesiones del Consejo Directivo de la Institución; Área de Taller Mecánico de Precisión; Área Administrativo-Contable; Área Decanato. Este conjunto en total abarca una superficie cubierta de 600m<sup>2</sup> y permite integrar, en gran parte, y en un mismo edificio, tanto las secciones Matemática, Física y Computación, las Áreas Administrativo-Contable, como de Apoyo a la Investigación y la Docencia. (Información provista por el Documento institucional, facilitado por el entrevistado PA)

## Bibliografía

- Augé, M. (1993). *Los no lugares. Espacios del anonimato. Una antropología de la sobremodernidad*. Barcelona: Gedisa
- Buchbinder, P. (2010). *Historia de las Universidades Argentinas*. Buenos Aires: Sudamericana.
- Cabanella, S. y Utges, G. (2004). Dr. Alberto Maiztegui. Recuerdos y reflexiones de un pionero en la enseñanza de la Física. *Revista de Enseñanza de la Física*. 17(1). Disponible en <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/8101>.
- Coria, A. (2015). *Tejer un destino. La formación de pedagogos en la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 1955-1976*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- De Certeau, M. (1996). *La invención de lo cotidiano 1. Artes de hacer*. México: Universidad Iberoamericana.
- Díaz Nuñez, F. A. (1993). *Educación y Ciencia en Córdoba. Génesis del IMAF (1573-1990)*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba.
- Friedemann, S. M. (2015). *La Universidad Nacional y Popular de Buenos Aires (1973-1974). Una reforma universitaria inconclusa*. [Tesis doctoral]. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.
- Maiztegui, A. (2004). Recuerdos y reflexiones de un pionero en la enseñanza de la Física. *Revista de Enseñanza de la Física*. 17(1). Disponible en <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/8101>.
- Moledo, L. (21 de abril, 2010). Diálogo con el profesor Alberto Maiztegui. Devoción por la física. *Página 12*.

- Tagashira, R. (2012). El instituto de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba, desde su creación hasta la transformación en facultad (1956-1983). En Hurtado, D. (Ed.). *La física y los físicos argentinos. Historias para el presente*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba/Asociación Física Argentina.
- Tricárico, H. R. (2012). La enseñanza de la Física en Argentina desde la creación del CONICET hasta la primera década del siglo XXI. En Hurtado, D. (Ed.). *La física y los físicos argentinos. Historias para el presente*. Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba/Asociación Física Argentina
- Zabala, M. y de Carli, M. (2013). Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Sus comienzos como disciplinas universitarias y su proceso de facultarización. En Gordillo, M. y Valdemarca, L. (2013). *Facultades de la UNC, 1854-2011: Saberes, procesos políticos e institucionales*. Colección 400 años. Los libros, 6. Córdoba: UNC.

## Capítulo XIII

### Entrevistas

**Nota:** todas las entrevistas se realizaron en forma electrónica, entre junio de 2020 y enero 2022. Los entrevistados tenían la opción de llenar un cuestionario o referir en forma breve su trabajo de investigación.

#### **Entrevista al Dr. Luis Ernesto Bilbao Profesor Adjunto del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires – Investigador Independiente CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

La temática principal es el estudio de descargas eléctricas pulsadas del tipo Plasma Focus, Z-Pinch o alambre explosivo. He trabajado tanto en mediciones experimentales como simulaciones numéricas. Originalmente estaba orientada hacia la fusión nuclear controlada debido principalmente a la importante radiación producida por estos equipos en la década del 70. Sin embargo, nunca se logró escalar ni la producción de partículas de fusión, ni de rayos de iones y electrones a escalas que podrían ser de interés para un eventual reactor de fusión, lo que llevó encaminar la investigación hacia las aplicaciones y la física básica.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Principalmente en el Instituto de Física del Plasma (INFIP), en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA.

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

El interés por la fusión nuclear controlada que, sin embargo, resultó ser un objetivo muy difícil de alcanzar (de hecho aún no se ha logrado en el mundo), por lo cual la investigación se orientó hacia la física básica, ya que, en estos equipos, hay muchos fenómenos que aún no se entienden completamente.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

En cuanto a la fusión y descargas eléctricas rápidas, siempre en el INFIP (que fue el primer instituto en investigar esta temática en Argentina y está entre los primeros en Latinoamérica, e inclusive en gran parte del mundo) puedo mencionar a Roberto Grattón, Constantino Ferro Fontán, Horacio Bruzzone, Héctor Kelly y Jorge Pouzo.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

El INFIP, que se inició bajo el nombre de Grupo de Física del Plasma en torno a 1969, ha sido el precursor de los numerosos grupos de esta temática que hoy existen en el país. En forma paralela, la CNEA se enfocó en la temática del confinamiento magnético teniendo grupos activos a la fecha (principalmente en Bariloche). Lamentablemente el tema fusión en Argentina tuvo detrás la historia de Richter y la Isla Huemul que impactó negativamente en el ulterior desarrollo de la fusión.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Actualmente interactúo con la Universidad de Castilla La Mancha (España) y en el pasado lo he hecho con ENEA (Frascati, Italia), Stevens Institute of Technology (New Jersey, USA), CNR (Legnaro, Italia), Università di Ferrara (Italia) y Universidad Nacional de Colombia (Manizales). Además, he tenido colaboraciones de menor duración con grupos en Ottawa, Varsovia, Praga, Moscú y varias universidades de Paraguay.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Actualmente soy codirector de un proyecto de electroporación con médicos e ingenieros, de aplicación para tratamientos médicos y la industria alimentaria.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Ninguno ha tenido una trascendencia importante (al menos respecto del total de citas), sin embargo, me parece que habría que destacar los trabajos donde se exponen el concepto de la posibilidad de obtener fusión en configuraciones cilíndricas (J.G.Linhart, L.Bilbao, *Nuclear Fusion*, **40**, 941, 2000; J.G.Linhart, L.Bilbao, *IEEE Transactions on Plasma Science*, **30** (2), 460-467, 2002; J.G.Linhart, L.Bilbao, *Nukleonika*, **48** (1), 13-16, 2003), un tema que no se ha continuado por carecer de los fondos económicos necesarios.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Una aplicación interesante es el uso del efecto Doppler para medir el espectro óptico de una fuente (L.Bernal, L.Bilbao; *Journal of Physics: Conference Series* **511**, 012085, 2014) que tiene una patente en tramitación, y, por otro lado, una interpretación de física básica acerca de cómo entender y resolver las aparentes paradojas del uso de la Ley de Faraday en presencia de medios materiales extensos (L.Bilbao, *American Journal of Physics* **86** (6), 422-429, 2018).

**Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

Además de lo anterior, he dedicado mucho tiempo en estudiar las muchas anomalías que presentan los datos de rastreo de las naves espaciales, que, curiosamente sugieren la dependencia de la velocidad de la radiación electromagnética con el movimiento de su fuente (L.Bilbao; "Does the Velocity of Light Depend on the Source Movement?", *Progress in Physics* **12** (4), 307-312, 2016). Esta dependencia es diferente de la predicha por teorías de emisión, que se sabe son erróneas. En cambio, lo que se propone es

relacionar la velocidad de la luz y el correspondiente efecto Doppler con la velocidad de la fuente en el momento de la detección, en lugar del momento de la emisión. Con esto es posible explicar cuantitativa y cualitativamente las anomalías de las naves espaciales. Asimismo, es posible una nueva formulación del electromagnetismo compatible con esta concepción, y también compatible con los fenómenos electromagnéticos conocidos (L.Bilbao, L.Bernal, F.Minotti; "Vibrating Rays Theory", arXiv:1407.5001 [physics.class-ph], 2014). Según esta teoría, el efecto de la velocidad de la fuente es algo sutil en muchas situaciones prácticas y por eso pasa desapercibida en muchos fenómenos (como por ejemplo, en los sistemas de posicionamiento como el GPS). El punto más interesante es que bajo esta teoría la interacción entre partículas contiene, al mismo tiempo, términos locales y no-locales, algo ausente en la formulación de Maxwell. Soy consciente de lo contra-intuitivo que resultan estos conceptos en la actualidad, pero, a la vez, dada la evidencia mostrada en los trabajos mencionados, creo que se necesita una investigación experimental especialmente dirigida a resolver la cuestión. ¡Algo que ninguna agencia estaría dispuesta a financiar!

**Entrevista al Dr. Roberto Bochicchio**  
**Profesor Asociado del Departamento de Física de la Facultad de**  
**Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires -**  
**Investigador Independiente CONICET**

**¿Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Actualmente me encuentro realizando investigación relacionada a un tema específico dentro de un área que se clasifica como Física Molecular o Química Cuántica, que refiere al estudio del comportamiento a nivel microscópico electrónico de sistemas moleculares y sus reordenamientos. En mi caso particular, me dedico a la descripción muy detallada por medio del desarrollo y su posterior aplicación de modelos teórico-computacionales de la distribución electrónica en los mencionados sistemas. En otras palabras resulta en responder y entender cómo es el comportamiento de la nube electrónica tanto en casos estáticos, estableciendo la naturaleza de las interacciones entre átomos (mal llamados enlaces químicos) y su dinámica en el caso de los reordenamientos denominados reacciones químicas. Con este objetivo hemos desarrollado una metodología que consta de partes propias y aplicación de otras ya establecidas para describir esta problemática en mucho detalle y rigor.

A lo largo de mi carrera desde mi período doctoral, fui avanzando de manera progresiva, es decir contestando las preguntas que surgen, como es natural en ciencia a medida que efectivamente se avanza. De esta manera pude desarrollar técnicas

propias como así dar solución a problemas específicos de mi interés en este campo. El carácter de mi investigación es teórico-computacional.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Realicé mi Licenciatura en Física y el posterior Doctorado en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN) de la Universidad de Buenos Aires. En esta institución llevé a cabo la mayoría de mis tareas. Tuve también estadías de investigación en varios centros del exterior donde en conjunto realizamos los desarrollos que utilizamos en las investigaciones.

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

El motivo de mi elección fue el gusto por los fundamentos y aplicaciones de la Mecánica Cuántica y encontré en este campo de aplicación y desde diversos ángulos, un escenario en el que me encuentro motivado.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

En el Departamento de Física de la FCEN, los pioneros de esta línea de investigaciones fueron los Profesores Jorge A. Medrano, quien fuera mi Director de Tesis Doctoral hasta su emigración a Estados Unidos en 1987; y fundamentalmente el Profesor Rubén Contreras, quién hasta su deceso se mantuvo activo, siendo un referente internacional del estudio de la descripción de las interacciones magnéticas intermoleculares, además fue un gran formador de recursos humanos. Pertenezco a un conjunto de investigadores en Departamento de Física que conformamos la segunda generación de esta línea de trabajo, y donde al día hoy ya se encuentra formada la generación que nos sigue.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Muy escasa. El advenimiento de las tecnologías computacionales y su accesibilidad promovió la expansión de la temática.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí. La tuve a largo de toda mi carrera y continúa en la actualidad.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Sí, del área de Ciencias Químicas.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Mis aportaciones originales a este área del conocimiento fueron básicamente dos que se continúan aun desarrollando se pueden resumir en cuatro aspectos:

a) desarrollo de modelos de partición racional de las poblaciones electrónicas (ocupaciones) en sistemas moleculares dando bases físicas basadas en la mecánica cuántica a los conceptos empíricos de la química tradicional como por ejemplo, las cargas atómicas netas, valencia atómica, relaciones entre las multiplicidades y los órdenes de enlace entre átomos;

- b) extensión de lo descrito en el punto anterior a sistemas de materia sólida en el que fuimos pioneros de este desarrollo;
- c) modelos de desacoplamiento de ecuaciones de sistemas de muchas partículas en mecánica cuántica;
- d) avances en la fundamentación del tratamiento de las descripciones electrónicas en dominios moleculares que introducen el número fraccionario de electrones como variable fundamental en la utilización y determinación de descriptores físico-químicos como los potenciales químicos (electronegatividad) y la “dureza” de las distribuciones electrónicas ante transformaciones de reordenamiento.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Mis trabajos han sido en ciencia básica y resultan útiles en la orientación para el desarrollo de nuevos materiales tanto de aplicación tecnológica con propiedades predeterminadas, como drogas farmacológicas, entre otros.

**Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

Es pertinente decir a modo de información que esta especialidad junto con la de Ciencias de la Atmósfera fueron las primeras interdisciplinas que se cultivaron en el Departamento de Física de la FCEN-UBA. Hoy en día, las interdisciplinas son muy comunes pero en aquellos momentos fueron muy fustigadas.

**Entrevista al Dr. Esteban Calzetta  
Profesor Titular del Departamento de Física de la Facultad de  
Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –  
Investigador Principal CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Mis temas de investigación son:

- a) teoría cuántica y estadística de campos, especialmente campos fuera de equilibrio.
- b) cosmología.
- c) fluidos viscosos relativistas.
- d) termodinámica cuántica.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Me formé en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN, UBA), obtuve mi doctorado en la Universidad de Wisconsin-Milwaukee, fui becario postdoctoral en las universidades de Maryland-College Park y de Alberta-Edmonton. En 1989 regresé al Departamento de Física de la FCEN como profesor y

me incorporé a la Comisión de Investigaciones Científicas (CIC-CONICET) con lugar de trabajo en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio (IAFE). En la actualidad pertenezco al Departamento de Física de la FCEN y al Instituto de Física de Buenos Aires (IFIBA).

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

La relatividad y la mecánica cuántica fueron los temas que me llevaron a la Física en primer lugar. Luego, cuando yo era estudiante avanzado, a mediados de los 80's, el grupo del Dr. Mario Castagnino en el IAFE era el más dinámico del departamento.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

En el país debo mencionar al Dr. Mario Castagnino, y en relatividad general, al grupo de la Facultad de Matemática, Astronomía, Física y Computación de la Universidad Nacional de Córdoba (FAMAF-UNC).

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Sí, y muy fuerte. Entre los discípulos que ha formado el Dr. Castagnino podemos mencionar a Juan Pablo Paz, Diego Harari, Diego Mazzitelli, Carmen Núñez y Rafael Ferraro, entre otros.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

He interactuado fuertemente con el Dr. Bei-Lok Hu (Universidad de Maryland) y con Enric Verdaguer (Universidad de Barcelona). En la actualidad continúo colaborando con colegas en Brasil.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Lamentablemente no.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Mis desarrollos de mayor impacto han sido en el área de teoría de campos fuera de equilibrio. Ver el trabajo: E. Calzetta y B-L Hu, *Nonequilibrium Quantum Field Theory*, Cambridge U.P. (Cambridge, Inglaterra), 2008.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Junto con el Grupo de Teledetección Cuantitativa del IAFE hemos utilizado métodos de teoría de campos para estudiar la dispersión de ondas electromagnéticas en suelos rugosos. Ver M. Franco y E. Calzetta, *Wave propagation in non-Gaussian random media*, *Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical* 48 (4), 2015 y M. Franco, M. Barber, M. Maas, O. Bruno, F. Grings, E. Calzetta, *Validity of the Kirchhoff approximation for the scattering of electromagnetic waves from dielectric, doubly periodic surfaces*, *Journal of the Optical Society (JOSA A)* 34 (12), 2266-227, 2017.

**Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

A lo largo de mi carrera he dirigido seis Tesis Doctorales.

## **Entrevista al Dr. Horacio Cataldo Investigador Independiente CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Siempre me dediqué a la física teórica y desde poco antes del año 2000 vengo trabajando sobre gases ultrafríos, principalmente en temas relacionados con los condensados de Bose-Einstein.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

En el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA y más recientemente formando parte del Instituto de Física de Buenos Aires (IFIBA).

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

A mediados de los noventa se logró experimentalmente la condensación de Bose-Einstein, investigaciones que fueron luego galardonadas con el premio Nobel. Esto fue principalmente lo que me llevó a interesarme en el tema.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

No tengo conocimiento que nadie en Argentina haya trabajado previamente en el tema. Desde el principio de mi investigación he trabajado en colaboración con la Dra. Dora Jezek y con algo menos de intensidad con el Dr. Pablo Capuzzi, ambos del IFIBA.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Considero que no. Además de nuestro trabajo en el campo teórico, cabría mencionar los recientes esfuerzos en el área experimental llevados a cabo en Laboratorio de Iones y Átomos Fríos del Departamento de Física de la FCEyN y del IFIBA.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Toda nuestra labor está completamente enmarcada y correlacionada con las investigaciones que se llevan a cabo en el mundo sobre el tema.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

No he tenido la oportunidad de hacerlo.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Hemos introducido importantes mejoras en el modelo de dos modos. Éste se aplica para gases ultrafríos condensados en trampas que presentan una conexión débil entre sí, configuraciones donde tiene lugar el efecto túnel entre condensados. Esta versión del modelo de dos modos ha sido ampliamente utilizada por un gran número de investigadores en el tema. En la actualidad nuestra investigación se ha especializado en el tratamiento teórico de dispositivos atomtrónicos. La atomtrónica es una disciplina

que ha emergido con fuerza en los últimos años, la cual aprovecha la versatilidad y preciso manejo experimental de los sistemas de átomos ultrafríos, para desarrollar análogos de los dispositivos electrónicos de uso común (circuitos, transistores, etc.) reemplazando a los electrones circulantes por átomos neutros. En estos últimos años hemos estado estudiando un análogo atomtrónico del dispositivo superconductor de interferencia cuántica, SQUID por sus siglas en inglés, cuya investigación experimental se encuentra en desarrollo en laboratorios del exterior.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

La atomtrónica se está desarrollando aceleradamente en la actualidad y sus potenciales aplicaciones prácticas van desde los sensores cuánticos de altísima sensibilidad (por ejemplo para detectar rotaciones, análogo a los magnetómetros construidos con SQUIDs) hasta implementar qubits formados por iones o átomos fríos, componentes fundamentales de las computadoras cuánticas.

**Entrevista al Dr. Sergio Dasso**  
**Profesor Adjunto del Departamento de Física de la Facultad de**  
**Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –**  
**Investigador Principal CONICET**

Mis actividades se centran en Física Espacial (a veces conocida como plasmas espaciales), y en particular en los últimos años mis investigaciones y actividades se centran en un tema nuevo conocido como Meteorología del Espacio (Space Weather). Cuatro de los temas principales en los que centro mis investigaciones son:

1) La evolución dinámica del viento solar en diferentes escalas, tanto macroscópicas (muchas veces modelada en el marco teórico de la MagnetoHidrodinámica) como dinámicas turbulentas a diferentes escalas espacio/temporales, que logran alcanzar escalas cinéticas, y requieren del modelado teórico con teorías cinéticas y física estadística con diferentes complejidades. Estudio el impacto de las condiciones del medio interplanetario en las cercanías de la Tierra, que determinan el nivel de acoplamiento Solar-Terrestre, y regulan el intercambio de energía y cantidad de movimiento con la magnetosfera de la Tierra.

2) La variabilidad del flujo de rayos cósmicos a nivel de superficie del planeta, y su relación con (a) las condiciones de la heliosfera, (b) el campo geomagnético y (c) las condiciones de la atmósfera (modificando la cascada extendida atmosférica que producen los rayos cósmicos primarios a través de procesos nucleares que generan partículas secundarias, que son las que logran arribar a la superficie planetaria).

Esta variabilidad permite observar la presencia de eventos transitorios en el viento solar, como por ejemplo la llegada de nubes magnéticas interplanetarias de origen solar, a través de los eventos ‘Forbush Decreases’.

En este contexto, colaboré con el Observatorio Pierre Auger para desarrollar la línea de 'Space Weather', a partir de observaciones de flujos de baja energía (algo así como un 'spin-off' del observatorio, ya que Auger se enfoca en los rayos cósmicos de muy alta energía).

3) Desarrollo de instrumental de Space Weather.

Hemos instalado un laboratorio de Space Weather en la base antártica argentina Marambio, con equipamiento desarrollado por nuestro grupo en el laboratorio de Ciencias Espaciales del IAFE (Instituto de Astronomía y Física del Espacio).

Este laboratorio está funcionando desde principios de 2019, y los datos adquiridos en Antártida son transmitidos en tiempo real (con 5 minutos de retraso) a nuestros servidores en Buenos Aires.

4) Trabajos de R2O (Research to Operations) y de O2R (Operations to Research) en temas de Space Weather.

Desarrollamos productos operativos que mantenemos activos en nuestro portal web, que ofrecen monitoreo y reportes de las condiciones de Space Weather en tiempo real: <http://spaceweather.at.fcen.uba.ar/>

En el marco de mi experiencia en temas de Space Weather operativo, participé como auditor científico principal, nombrado por la Organización Mundial de Meteorología, para auditar los centros operativos de Space Weather que actualmente proveen oficialmente esta información a la OACI (Organización Aeronáutica Civil Internacional), que desde fines de 2019 provee información para la toma de decisiones en este ámbito.

### **Entrevista al Dr. Alejandro de la Torre Profesor Titular Facultad de Ingeniería Universidad Austral - Investigador Principal CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Las temáticas en las que trabajo actualmente son:

- √ Dinámica y ondas atmosféricas terrestres
- √ Análisis e interpretación de fenómenos atmosféricos a partir de datos experimentales remotos e in situ
- √ Simulación numérica de procesos atmosféricos
- √ Mitigación de daño por precipitación de granizo en la Argentina
- √ Incremento artificial de precipitaciones pluviales y nievas
- √ Detección y análisis de eventos atmosféricos extremos en Sudamérica a partir de reanálisis de datos y de mediciones experimentales

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Facultad de Ingeniería (Universidad Austral) y LITDUA (Laboratorio de Investigación, Transferencia y Desarrollo de la Universidad Austral) y CONICET

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

De los temas enumerados antes, en particular dentro de la dinámica de la atmósfera, el estudio de las ondas de gravedad constituía, a principios de los 90, un área de vacancia en nuestro país, a pesar de su enorme importancia en la circulación atmosférica. En cuanto a la temática del granizo, fui contratado en varias oportunidades por el Gobierno de Mendoza en carácter de asesor científico en el tema, lo que me llevó al estudio de la eficiencia de la modificación artificial del tiempo mediante la siembra de nubes.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

No tengo conocimiento de investigadores que introdujeran el estudio de las ondas de gravedad atmosféricas al país, pero en el extranjero la lista es larga. En cuanto a la lucha antigranizo, en la Argentina, los proyectos experimentales comenzaron a fines de la década del 50 con los Dres. Iribarne y Grandozo.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

En la primera mencionada, creo que no y en la segunda, sí.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Nuestro grupo de investigación, integrado por cuatro investigadores y dos tesis doctorales, viene interactuando con universidades y centros de investigación de Alemania, Francia, Austria, Japón e Italia, desde mediados de los años 90 hasta la actualidad.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

En ambas líneas de investigación, con meteorólogos. Por ejemplo, desde hace unos años, coordino un Comité científico asesor de la Lucha Antigranizo en Mendoza. En dicho comité hay meteorólogos, ingenieros de radar, informáticos y físicos.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

La obtención de climatologías atmosféricas de ondas de gravedad a escala global, a partir de datos experimentales, tanto in situ como remotos y su correcta interpretación en función de las limitaciones de cada plataforma de medición. Detección y análisis de la importancia de las ondas de gravedad de montaña como mecanismo de disparo de tormentas severas con producción de granizo.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

La detección experimental de la energía y la cantidad de movimiento transferida por las ondas de gravedad entre niveles de la atmósfera, para proceder a su inclusión en los modelos de circulación general de la atmósfera. Cabe señalar que dichos modelos actualmente no detectan dichas ondas debido a su limitada escala espacial y temporal. Por ello, hay que introducir su efecto en forma de parametrizaciones externas y de esta manera, poder obtener pronósticos realistas del estado de la atmósfera.

**Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

Actualmente se está trabajando a partir de los datos experimentales obtenidos durante la campaña SOUTHTRAC-GW (Southern hemisphere Transport, Dynamics, and Chemistry - Gravity Waves) a fines de 2019 sobre la región sur argentina, de simulaciones numéricas y de datos de reanálisis. Se analiza la distribución, generación y propagación de las ondas internas de gravedad en las atmósferas baja y media del sector sur de Sudamérica y de la península Antártica. El diseño y ejecución de los aspectos dinámicos del experimento SOUTHTRAC-GW estuvo a cargo, en colaboración, de investigadores de varias instituciones de Alemania y del grupo dirigido por quien suscribe. El avión alemán HALO (High Altitude and Long Range research aircraft) Gulfstream 550 fue instalado en una base militar en Río Grande en septiembre de 2019. Se concretaron siete vuelos de investigación con longitud y duración aproximados de 7000 km y 8 horas, a fin de recopilar las observaciones. Se incluyeron, además de una sonda frontal con varios sensores de muestreo de alta frecuencia, dos instrumentos especialmente novedosos (Rapp y otros, 2020): ALIMA (Airborne LIdar for Middle Atmosphere research) y GLORIA (Gimballed Limb Observer for Radiance Imaging of the Atmosphere). ALIMA midió la temperatura atmosférica en el rango de altitud de 20 a 90 km. GLORIA permitió caracterizar las temperaturas y las relaciones de mezcla de los gases trazadores entre altitudes de 5 y 15 km.

### **Entrevista a la Dra. Lucía M. Famá**

#### **Profesora Adjunta del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires – Investigadora Independiente CONICET**

**Estimada, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Mis principales líneas de investigación consisten en el desarrollo de micro/nanocompuestos y materiales bicapa funcionales a base de polímeros biodegradables y compostables, empleando técnicas de posible escalado industrial, para su posible implementación en la industria de los envases. Para lograr obtener materiales funcionales (activos y/o inteligentes) se han utilizado antioxidantes naturales (extractos vegetales), proteínas, salvados y nanopartículas con propiedades antimicrobianas (nanopartículas de plata, dióxido de titanio, zinc, entre otras). Las técnicas empleadas para la preparación de los materiales actuales son la extrusión seguida de calandrado, soplado o termoprensado, de modo de lograr obtener una serie de materiales óptimos para su posible adopción por la industrial.

Durante los tiempos de pandemia provocada por el virus SARS-CoV-2, el equipo de trabajo del Laboratorio de Polímeros y Materiales Compuestos (LP&MC), del Instituto de Física de Buenos Aires (IFIBA-CONICET), Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA, junto con el Instituto 3iA de la UNSAM, hemos dedicado gran parte de nuestros esfuerzos en el desarrollo de sistemas viricidas, bactericidas y fungicidas, y en su aplicación en telas comerciales, para la conformación de barbijos de uso social que actualmente se comercializan bajo la marca "AtomProtect".

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

En el Laboratorio de Polímeros y Materiales Compuestos (LP&MC), del Instituto de Física de Buenos Aires (IFIBA-CONICET), Departamento de Física, Facultad de ciencias Exactas y Naturales de la UBA.

**¿Qué la llevó a interesarse por esa temática?**

Poder lograr desarrollos concretos con posibilidades de aplicación y llegada directa a la gente fue uno de los mayores atractivos que me llevaron a interesarme en esta temática. En particular, conocer las posibles contribuciones de mis investigaciones, como la posibilidad reducir los residuos debido a los envases de plástico y lograr disminuir la contaminación ambiental por polución y por ende, su impacto negativo en la salud de la población; y poder contribuir con desarrollos que actúen como retardadores de la oxidación y/o el crecimiento bacteriano de productos del sector alimenticio, extendiendo su vida útil (conservación de los alimentos).

**¿Cuáles fueron los investigadores que la precedieron en este campo de estudio?**

En la Universidad de Buenos Aires no se contaba con grupos de investigadores que trataran particularmente este tema. Fueron muchos quienes investigaron la posibilidad de generar materiales de envase biodegradable, pero dos investigadoras, la Dra. en Física Silvia Goyanes (LP&MC, Dep. Física, FCEyN, UBA) y la Dra. en Química Lía Gerschenson (ITAPROQ, Fac. de Industrias, FCEyN, UBA) quienes tuvieron la iniciativa de comenzar con esta temática en mis comienzos en la investigación.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

En las últimas décadas, Argentina ha logrado involucrarse en gran medida en este tipo de investigaciones a partir de la generación de grupos de investigación interdisciplinarios. Actualmente, contamos con grandes equipos de científicos y científicas investigando esta temática.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí, hay grupos de investigación que desarrollan materiales a partir de componentes naturales/biodegradables con los que trabajamos conjuntamente, por ejemplo en Colombia, España, Italia y Francia.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Sí, es difícil pensar que un investigador/a pueda realizar desarrollos novedosos sin contar con contactar o relacionarse con colegas de otras disciplinas. El conocimiento hace a la investigación, por lo que estar en constante contacto con otras personas del ámbito enriquece cualquier actividad de investigación.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Dentro de la línea de trabajo de los materiales compuestos biodegradables para su empleo en envases, dos trabajos fueron altamente referenciales; películas activas e inteligentes de almidón y extracto de yerba mate, que condujeron a varias publicaciones en revistas en el área y en el interés de diversas empresas para su posible implementación como recubrimiento de alimentos; y la obtención de nanocompuestos de almidón-NP de plata, logrando una importante compatibilidad entre un material natural, como es el almidón, con las NP metálicas debido a la realización de una síntesis verde adecuada para la obtención de las NP.

El resultado más importante de la última etapa fue la obtención de las telas funcionales para su uso en los barbijos sociales denominados “Barbijos Conicet”, o con su nombre comercial “AtomProtect”.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Los materiales de la línea de película, nanocompuestos o materiales bicapa funcionales y biodegradables, como envase en contacto directo con el alimento (bolsa por sellado térmico en vacío, o recubrimiento), o como parte de un envase conteniendo diferentes capas. Los sistemas conteniendo activos viricidas, fungicidas y bactericidas sobre textiles, para barbijos.

**Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

La pandemia y el desarrollo de sistemas activos para las telas de los barbijos de uso social nos han mostrado claramente la importancia de ser constantes y dedicados en la investigación, y que, a pesar de que muchos de los desarrollos científicos no se hagan visibles, siempre serán fundamentales para otras investigaciones.

**Entrevista al Dr. Marcelo Fontana**  
**Profesor Titular Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos**  
**Aires - Investigador Independiente CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Mi disciplina de trabajo es Ciencias de Materiales. Actualmente investigo en dos líneas experimentales que usan materiales sólidos amorfos, estas son 1) Aplicaciones de

vidrios calcogenuros y 2) Soldaduras especiales de aceros utilizando una técnica que se denominada “uniones mediante una fase líquida transitoria”.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

FIUBA, CONICET.

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

En realidad, siempre me interesó hacer ciencia experimental, y dentro de ella el área de ciencias de materiales es de gran importancia y vigencia en nuestro país por la cantidad de especialistas y la variedad de técnicas de estudio que se emplean. Además, existen numerosas aplicaciones para los nuevos materiales que se generan prácticamente en forma permanente.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

Los referentes dentro de FIUBA son la Dra. Bibiana Arcondo y el Dr. Hugo Sirkin.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Sí, tiene plena vigencia.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí, tenemos interacción con grupos de España, Brasil, Francia y Alemania.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

En general interacciono en las tareas de investigación con investigadores que trabajan en mi área.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Como lo mencioné precedentemente, trabajo en dos líneas de investigación de alto contenido tecnológico con aplicaciones concretas:

- 1) materiales amorfos calcogenuros con el objeto de aplicarlos para la construcción de dispositivos tales como baterías de estado sólido, memorias no-volátiles, dispositivos ópticos, sensores de iones, etc.
- 2) un proceso tecnológico de soldadura de tubos de acero empleando materiales amorfos.

En ambos casos se efectuó un trabajo de carácter esencialmente experimental pero también se realizaron modelados numéricos de diferentes situaciones físicas. A continuación, hago un resumen de lo desarrollado:

**1) Materiales amorfos calcogenuros:**

Las propiedades de algunos vidrios calcogenuros los hacen particularmente aptos para la fabricación de dispositivos tales como microbaterías recargables de película delgada, memorias no volátiles, sensores de iones, etc. Se comenzó con la investigación de algunos sistemas ternarios con vistas a sus aplicaciones. Se realizaron estudios en tres sistemas: GeSeAg que presenta la propiedad de conducción por iones de  $Ag^+$ , GeSeSb de interesantes propiedades ópticas como transparencia en el infrarrojo y

GeSbTe de interesantes propiedades ópticas y eléctricas. Los principales resultados son:

*Sistemas GeSeAg, GeSeSb y GeSbTe - Resultados:*

Hemos sintetizado vidrios del sistema  $(\text{Ge}_{25}\text{Se}_{75})_{100-x}\text{Ag}_x$  en distintas composiciones. El rango de amorfización para enfriados rápidos desde el líquido está acotado entre los valores  $0 < x < 30$  % atómico. Estudiamos su estructura, su cinética de cristalización y su conducción iónica a diferentes temperaturas. Las aleaciones amorfas fueron caracterizadas por difracción de rayos x y difracción de neutrones mediante el estudio de la función de distribución radial. Nuestros resultados son compatibles con la presencia de tetraedros  $\text{GeSe}_{4/2}$  y uniones Se-Se, los átomos de Ag están ligados a Se en entornos triangulares. El orden de corto rango de los entornos de Germanio y de Selenio fue caracterizado por Estructura fina de la Absorción de Rayos X Extendida (EXAFS) y la microestructura de las aleaciones amorfas fue caracterizada por microscopía electrónica de barrido (SEM) y difracción de rayos X de pequeño ángulo (SAXS). Las aleaciones amorfas de composición  $(\text{Ge}_y\text{Se}_{100-y})_{100-x}\text{Ag}_x$  con  $y=20$  e  $y=25$  presentan heterogeneidades intrínsecas consisten en zonas de diferentes composiciones, básicamente debido a la concentración de Ag.

Se realizaron medidas de DSC, de conductividad y, experiencias de microscopía electrónica y óptica. Analizamos como se modifican las propiedades con la concentración de Ag. Realizamos diversos tratamientos térmicos y caracterizamos los productos resultantes. Las aleaciones amorfas y las cristalinas fueron dopadas con los isótopos  $^{57}\text{Fe}$  o  $^{119}\text{Sn}$  con el objeto de analizar su entorno químico usando espectroscopía Mössbauer.

Con la motivación de las posibles aplicaciones tecnológicas de estos sistemas calcogenuros fabricamos películas delgadas y estudiamos sus propiedades.

Una aplicación novedosa del sistema GeSeAg son las denominadas celdas de metalización programables con se usarían como memorias no-volátiles. Trabajamos con el objetivo de la fabricación de las mencionadas celdas de metalización y su caracterización. Estos dispositivos se fabrican con Ag fotodifundida en películas binarias GeSe.

Por otro lado, el sistema GeSeSb presenta destacables propiedades ópticas tales como una ventana ancha de transmisión en el infrarrojo (1-20 micrones) controlada por la composición y altos valores de índice de refracción. Se puede aplicar en la fabricación de dispositivos para la óptica infrarroja.

Siguiendo las ideas expresadas en los dos últimos párrafos, preparamos, por ablación láser (Nd:YAG), películas de AgGeSe y de GeSeSb. La morfología de las películas y las propiedades ópticas (determinadas a partir de espectros de transmisión con longitudes de onda entre 250 y 2500 nm), en el caso de GeSeSb, han sido estudiadas.

Con vistas a la aplicación en celdas de metalización programables, hemos realizado una secuencia de películas binarias GeSe, ternarias GeSeAg y GeSe con Ag fotodifundida. Han sido caracterizadas usando difracción de rayos X, perfilometría, microscopía electrónica y espectroscopía Raman.

Además, una de las propiedades más importantes de algunos vidrios calcogenuros base telurio, es la conmutación óptica y eléctrica entre dos estados: el vidrio y el estado cristalino. Esta conmutación óptica entre estados es actualmente usada en la grabación de información en la tecnología de R-DVD donde se emplean aleaciones amorfas GeSbTe. Este mismo sistema es candidato, por sus propiedades eléctricas, para ser empleado en memorias no-volátiles. Muestras amorfas GeTeSb y GeTe de composiciones cerca del punto eutéctico  $\text{Ge}_{15}\text{Te}_{85}$  fueron obtenidas por solidificación rápida. La cinética de la cristalización de las muestras se estudió mediante DSC y difracción de rayos X. También, como en los casos anteriores, se han obtenido películas finas de composiciones ternarias por ablación láser (Nd:YAG) y se estudiaron sus propiedades (conductividad en función de la temperatura, propiedades térmicas mediante nanocalorimetría, etc.). También realizamos una simulación de un prototipo de memoria no-volátil basada en el método de elementos finitos.

*Técnicas empleadas y equipamiento utilizado:*

- Difracción de rayos X con radiación monocromática de Cu o Mo a temperatura ambiente.
- Difracción de neutrones en colaboración con la Universidad de Montpellier.
- Espectroscopía Mössbauer con fuente de  $^{119}\text{SnO}_3\text{Ba}$  o  $^{57}\text{Co}(\text{Rh})$  a 77 y 300 K.
- Microscopía óptica.
- Microscopía electrónica SEM y EDAX.
- Medidas de resistividad de materiales en volumen y en película.
- Calorimetría diferencial de barrido.
- Cámara para producir películas por ablación usando un laser pulsado (PLD).
- Espectroscopia Raman en la Universidad de Montpellier.
- Microscopía de fuerza atómica (AFM) en la Universidad de Montpellier.
- Perfilometría y medidas de espesor de películas en la Universidad de Montpellier.
- Transmisión en el infrarrojo en la Universidad de Montpellier.
- Estructura fina de la Absorción de Rayos X Extendida (Extended X-ray Absorption Fine Structure-EXAFS) y difracción de rayos X de pequeño ángulo (Small Angle X-ray Scattering -SAXS) en Laboratorio Nacional de Luz Sincrotron (Campinas).
- Nanocalorimetría en la Universidad Autónoma de Barcelona.

## **2) Soldadura empleando materiales amorfos**

*Introducción:*

El procedimiento de soldadura denominado TLPB (Transient Liquid Phase Bonding) consiste en colocar entre las dos piezas a unir, una fina capa de una aleación de composición adecuada y punto de fusión inferior al de los materiales a soldar, que es usada como agente de unión. Las partes son calentadas a una temperatura intermedia entre las de fusión del material de aporte y del material a soldar y una rápida difusión de los elementos aleantes ocurre entre la intercapa líquida y el metal base.

*Resultados:*

Usando esta técnica soldamos caños y barras de acero empleando láminas amorfas de los sistemas FeB y FeBSi. Para tal fin construimos los dispositivos necesarios a escala de laboratorio. Para el calentamiento de las muestras usamos un horno de

inducción. Caracterizamos las muestras soldadas empleando microscopía óptica y electrónica y analizamos sus propiedades mecánicas como microdureza y tracción. La influencia sobre las soldaduras de las variables de interés, básicamente el tiempo, la temperatura y la presión a la que es sometida la unión, fueron analizadas. Realizamos una simulación basada en el método de elementos finitos. Es de destacar que como fruto de lo desarrollado se gestionó un pedido de patentamiento para uno de los dispositivos fabricado y su procedimiento de trabajo.

*Técnicas empleadas y equipamiento utilizado:*

- Difracción de rayos X con radiación monocromática de Cu o Mo a temperatura ambiente.
- Espectroscopía Mössbauer con fuente de  $^{119}\text{SnO}_3\text{Ba}$  o  $^{57}\text{Co}(\text{Rh})$  a 77 y 300 K.
- Microscopía óptica.
- Microscopía electrónica.
- Microdureza.
- Medidas de Tracción.
- Calorimetría diferencial de barrido y Análisis Térmico Diferencial (DTA).

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

En la pregunta anterior he mencionado aplicaciones de los materiales que estudiamos.

**Entrevista al Dr. Gastón Giribet**  
**Profesor Asociado del Departamento de Física de la Facultad de**  
**Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –**  
**Investigador Principal CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

En los últimos veintidós años de investigación en física teórica he trabajado en diferentes temas, todos ellos relacionados de una u otra forma con lo que se denomina física teórica de altas energías. Más precisamente, he trabajado en teoría cuántica de campos, en teoría de supercuerdas, en teorías conformes, física de los agujeros negros, teoría general de la relatividad, supersimetría, aplicaciones de álgebras infinito-dimensionales a la física, teorías de Gauge, holografía, teorías topológicas de campos, gravedad cuántica, entre otros. Si se me invitase a descubrir un denominador común entre todo ellos, diría que los temas de investigación a los que más dediqué esfuerzos se enfocan en el intento por esenciar la teoría general de la relatividad con la mecánica cuántica; esto es, la empresa de formular una teoría cuántica de la relatividad que permita, a su vez, una descripción unificada de la física. Hoy en día la teoría más

promisoria en esa búsqueda es la llamada teoría de supercuerdas, que es uno de los tópicos centrales de mi trabajo.

### **¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Yo trabajo actualmente en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA), donde soy Profesor de Física Teórica, y trabajo también en el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (Conicet), del que soy Investigador Principal.

Trabajé también en otros sitios, donde también llevé a cabo mis investigaciones. Por ejemplo, fui Miembro de los Institutes for Advanced Study en Princeton, USA, durante 2003-2004; fui Profesor Visitante de la Université Libre de Bruxelles, en Bélgica, durante 2015-2017; fui Senior Research Scientist en New York University durante 2017-2018; y trabajé también en otras instituciones, como el ICTP de Italia, la TUW de Austria y la Universidad de Brandeis.

### **¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

Cuando, a comienzos de 1997, me encontraba terminando mi licenciatura en física en la Universidad de Buenos Aires supe del revuelo que estaba causando por aquellos días un nuevo resultado que nacía en el seno de la llamada teoría de supercuerdas: la conjetura de Maldacena, hoy conocida como correspondencia AdS/CFT o correspondencia holográfica. No sabía bien de qué trataba, pero me alcanzaba con saber que era un novísimo resultado de la física teórica que lograba vincular las cuerdas, los agujeros negros y la teoría cuántica de campos. Se erguía como un resultado promisorio para investigar la gravedad cuántica. De inmediato algunos de mis compañeros y yo nos sentimos interesados en esto y comenzamos nuestra búsqueda de grupos de investigación en Argentina que se dedicaran al tema. Fue así como varios de nosotros nos acercamos al grupo del Instituto de Astronomía y Física del Espacio, donde comenzamos nuestras tesis de licenciatura, precisamente, en ese tema. Por aquellos días, hace más de veinte años, era un tema incipiente, poco se entendía, y era difícil imaginar que se convertiría en un tema de tanta relevancia como terminó siendo. Creo que fui afortunado de haber elegido bien el tema y la gente con quien trabajar en él.

### **¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

Como digo, al momento de comenzar mi investigación, a fines de los 90s, el estudio de la correspondencia AdS/CFT era un tema novedoso. Nacía del trabajo seminal de Juan Martín Maldacena, de noviembre de 1997, y también se veía nutrido del trabajo ordenador que otros físicos notables, Polyakov y Witten entre ellos, habían realizado en 1998. Rápidamente el tema eclosionó y muchos investigadores de todo el mundo se lanzaron a investigar en él.

### **¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

En Argentina hoy hay excelentes grupos de investigación trabajando en física teórica de altas energías y temas relacionados con la correspondencia holográfica. Pienso en

investigadores de la Universidad de Buenos Aires, de la Universidad Nacional de La Plata, del Instituto Balseiro, entre otros; entre ellos, Marina Huerta, Horacio Casini, y muchísimos más: Diego Marqués, Guillermo Silva, Diego Correa, Gonzalo Torroba, Carmen Núñez, Mauricio Leston, Alan Garbarz, Martín Schvellinger, Nicolás Grandi, Gerardo Aldazábal, Fidel Schaposnik y muchísimos otros. Cuando yo comencé a trabajar en este tema, allá por los años 90, el grupo de expertos locales era más pequeño y, en muchos casos, derivaba del grupo de relatividad que Mario Castagnino había formado durante las décadas de 1970 y 1980. Por ejemplo, Carmen Núñez, mi directora de tesis, había sido alumna de tesis de Castagnino, y es a este último a quien le debemos la formación de expertos en teorías gravitatorias en Buenos Aires.

### **¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí, en especial con colegas de las universidades de Harvard, de New York, del Centro de Estudios Científicos de Valdivia en Chile, y de las universidades de Paris, Viena, Bruselas, entre otros. También escribimos artículos en coautoría con expertos de otros sitios, como Tokio, Londres, Padua, Milán, Massachusetts, Boston, Stony Brook y muchos más.

### **¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Dado el carácter puramente teórico de nuestro trabajo, nuestras actividades de interdisciplina se limitan al contacto con matemáticos. La interacción entre físicos y matemáticos es, de hecho, muy fructífera; es interesante ver cómo tenemos miradas tan diferentes y complementarias sobre problemas técnicos similares.

### **¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

En más de veinte años de investigación en el área puedo mencionar varias líneas de investigación en las que mi grupo y yo hemos realizado aportes, pero hay dos con los que me siento particularmente satisfecho: El primero es el cálculo explícito de observables (amplitudes de *scattering*) en la teoría de cuerdas en el espacio de Anti-de Sitter, esencial para la comprobación de la correspondencia AdS/CFT de Maldacena a nivel de la teoría de cuerdas. El otro es un resultado que obtuve en colaboración con mis colegas de Bruselas, con quienes descubrí un conjunto infinito de simetrías que el espacio-tiempo exhibe en la cercanía de los agujeros negros. Stephen Hawking había conjeturado la existencia de simetrías tales, circa 2015, y en 2016 nosotros logramos demostrar y extender su conjetura. Mis colegas y yo tuvimos la suerte de que, pocos años antes de morir, Hawking y otros especialistas, como Robert Wald, Malcom Perry y Andrew Strominger, hayan considerado y citado nuestros trabajos en este tema.

### **¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Sí, por supuesto: entender el universo en el que nos es dado ser

**Entrevista al Dr. Claudio Iemmi**  
**Profesor Titular del Departamento de Física de la Facultad de**  
**Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –**  
**Investigador Principal CONICET**

Luego de una estancia posdoctoral en el Istituto Nazionale di Ottica (Florencia Italia) regresé al país en 1994 y en el ámbito del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UBA), junto con una colega, la Dra. Silvia Ledesma, comenzamos a desarrollar una nueva línea de investigación. Así, en el año 1996 surgió el Laboratorio de Procesado de Imágenes (LPI) con el propósito de llevar a cabo investigaciones orientadas básicamente al reconocimiento óptico de formas y la mejora y detección de determinadas características de una imagen. La aparición de nuevos dispositivos optoelectrónicos posibilitó que paulatinamente la línea original de investigación fuera ampliándose al tratamiento óptico de señales. Esto incluía, por ejemplo, el estudio de moduladores espaciales de luz, el diseño de dispositivos para conformar haces luminosos y la simulación óptica de algoritmos cuánticos. Así, el nombre inicial con que era conocido el laboratorio quedó cada vez menos representativo de las líneas de investigación que se iban desarrollando y se decidió cambiarlo a Laboratorio de Óptica y Fotónica (LOF) ya que abarca el amplio espectro de temas que en el mismo se desarrollan. Si bien estos, lógicamente, van cambiando podemos decir que actualmente se pueden resumir en tres líneas. Una de ellas está orientada a la generación de óptica singular, es decir a la generación y detección de haces con distribuciones complejas de vorticidad y polarización. Otra línea estudia el diseño de dispositivos y métodos que permitan entrelazar distintos grados de libertad de fotones individuales (momento transversal lineal, momento angular, polarización) de forma de potenciar su capacidad como portadores de información en óptica cuántica. Por último, una tercera línea abarca el estudio de materiales fotónicos con aplicaciones en dispositivos ópticos y electrónicos.

**Entrevista al Dr. Fernando César Lombardo**  
**Profesor Asociado del Departamento de Física de la Facultad de**  
**Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –**  
**Investigador Principal CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Durante mi Tesis doctoral comencé a interesarme en el estudio de la transición cuántico-clásica en teoría cuántica de campos. Desarrollé trabajos formales sobre como estudiar

el proceso de pérdida de coherencia cuántica en teorías de campos relativistas, como aplicaciones a modelos de cosmología inflacionaria, transiciones de fases y formación de defectos topológicos.

Después de mi estadía postdoctoral, comencé a estudiar efectos relacionados con las fluctuaciones cuánticas del vacío (física de Casimir), tanto en configuraciones estáticas como dinámicas; electrodinámica en cavidades y también en aspectos teóricos y experimentales sobre las modificaciones que la decoherencia produce en las fases geométricas de sistemas cuánticos abiertos.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Principalmente, en el Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Entre 1999 y 2002 trabajé en el Theoretical Physics Group, Imperial College, London – UK.

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

En principio la motivación impulsada por la curiosidad como impulso a la investigación básica en los aspectos más fundacionales de la teoría cuántica. Posteriormente, y ya enmarcado en proyectos grupales, el interés pasó por resolver problemáticas globales, avanzar en el conocimiento del área y diseñar experimentos innovadores.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

Mi director de Tesis de Doctorado, el Prof. Francisco Diego Mazzitelli, con quien compartimos al Prof. Mario Castagnino como mentor y director de tesis de Licenciatura en Física. También creo importante señalar a los Profesores Esteban Calzetta y Juan Pablo Paz; con quienes he mantenido muchos intercambios académicos durante años. En el Imperial College, colaboré estrechamente con el Prof. R. Rivers y el Grupo de Tom Kibble.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Sí, fundada principalmente por el trabajo del Dr. Mario Castagnino y sus estudiantes, mencionados en el ítem anterior.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí, en la actualidad con Grupos en USA, Brasil, Italia y España.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Sí, con otras disciplinas dentro de la Física Teórica.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

A lo largo de mi carrera, no solo hemos logrado un número importante de publicaciones en revistas internacionales de alto impacto, con un buen número de citas, sino que además, hemos logrado presentar nuestros resultados en las reuniones más importantes sobre el tema, e iniciado colaboraciones internacionales con grupos que,

por ejemplo, han iniciado experimentos tendientes a recrear nuestras propuestas teóricas en el laboratorio.

También es de importancia destacar la formación de recursos humanos que se han formado en mi Grupo. Tanto estudiantes de licenciatura como doctores en Física, quienes han tenido brillantes carreras en el país y en el exterior.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

No corresponde. Sin embargo, creo importante destacar la formación de recursos humanos, las tareas de gestión Universitaria que he realizado (y realizo); evaluaciones de proyectos; etc.

**Entrevista al Dr. Gabriel Bernardo Mindlin  
Profesor Titular del Departamento de Física de la Facultad de  
Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –  
Investigador Superior CONICET**

Te cuento que en los últimos 20 años trabajé en el campo de la dinámica no lineal aplicada a la biofísica. En particular, a dilucidar los mecanismos físicos y neuronales subyacentes en el canto de las aves. Es un trabajo teórico y experimental, en el cual trabajamos con la medición de variables fisiológicas y neuronales durante la producción del canto, y modelamos tanto la actividad neuronal como la biofísica de la producción vocal. El lenguaje es el de los sistemas dinámicos, y en el laboratorio trabajan biólogos y físicos.

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Trabajo en la biofísica y neurociencia de la producción vocal en aves, desde la perspectiva de la dinámica no lineal.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Universidad de Buenos Aires, Exactas, y Conicet (Ifiba)

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

En qué medida un comportamiento complejo en la biología está condicionado por la biomecánica, y en particular, por las propiedades no lineales de la misma.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

En Argentina, ninguno, y en parte por eso fui a hacer mi doctorado a USA. En el mundo, mis referentes fueron Phil Holmes, Dan Margoliash, Martin Golubitsky.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

No. En aplicaciones de la dinámica no lineal a la biofísica, la escuela fue en parte formada por mi generación.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí. Dan Margoliash, Chicago y Franz Goller, Utah.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Sí, biología.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Lograr mostrar que con dinámica de baja dimensión, se generan sonidos que el cerebro aviar no puede distinguir de los sonidos propios.

Ver: Nature (2013) doi:10.1038/nature11967

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Construcción de bioprotésica vocal. Ej: Assaneo, F. M., Ramirez Butavand, D., Trevisan, M. A. and Mindlin, G. B. *Frontiers in Communication*, 4, 13; (2019).

**Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

Quedo a disposición para elaborar sobre estos temas

**Entrevista al Dr. Pablo Daniel Mininni**  
**Profesor Titular del Departamento de Física de la Facultad de**  
**Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –**  
**Investigador Principal CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Trabajo en el estudio numérico y teórico de la turbulencia, con aplicaciones en astrofísica, geofísica y ciencias atmosféricas. En el campo de la dinámica de fluidos he desarrollado métodos de paralelización para dinámica de fluidos computacional, trabajé en la aplicación de métodos estadísticos para la caracterización y análisis de flujos turbulentos, en el análisis espectral de fenómenos multi-escala, y en el modelado de subgrilla para flujos turbulentos. Las aplicaciones incluyen el transporte de material particulado en turbulencia rotante y estratificada en la atmósfera y los océanos, la turbulencia en superfluidos y en condensados de Bose-Einstein, el estudio del ciclo solar y dínamos turbulentos en estrellas o interiores planetarios, y la dinámica desorganizada del plasma en el medio interplanetario. En los últimos años me interesé también en aspectos experimentales de la dinámica de fluidos aplicada al estudio de flujos geofísicos, ayudando a consolidar un grupo de investigación que estudia

diversos aspectos de la turbulencia combinando teoría, simulaciones, y experimentos de laboratorio.

### **¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Recibí mi título de grado en 1999 y mi doctorado en el área de Ciencias Físicas en 2003, ambos en la Universidad de Buenos Aires (UBA). De 2004 a 2007 fui postdoc y luego científico permanente en National Center for Atmospheric Research (NCAR) en Boulder, Colorado (Estados Unidos). Continué trabajando para NCAR como científico a tiempo parcial de 2007 a 2012. Desde 2007 soy investigador del CONICET y profesor en el Departamento de Física de la UBA, donde también fui director del Departamento de 2011 a 2015.

### **¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

La turbulencia es un ejemplo paradigmático de un sistema complejo, y que ocurre tanto en sistemas físicos clásicos como cuánticos. Es un problema con preguntas abiertas desde el punto de vista de la física básica, y con aplicaciones muy diversas. Y es justamente esta combinación de factores la que me interesó. Me permite considerar preguntas de física fundamental en las áreas de mecánica estadística y sistemas dinámicos, hasta trabajar con investigadores de otras disciplinas en problemas muy aplicados. Algunos ejemplos de esta diversidad temática incluyen problemas de ciencias de la computación (por ejemplo, para encontrar formas de visualizar datos espacialmente muy complejos), en ciencias atmosféricas (como el problema del transporte de aerosoles en la atmósfera), o en astronomía y astrofísica (como en el caso del problema de la aceleración de partículas cargadas en el viento solar, o de la generación de campos magnéticos en estrellas).

### **¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

El estudio de la turbulencia tiene un gran número de exponentes destacados desde mediados del siglo XX, así que me limito a mencionar los investigadores con los que tuve un trato más cercano y marcaron mi formación.

Realicé mi tesis de licenciatura en la UBA bajo la dirección de Daniel Gómez y Gabriel Mindlin, de quienes aprendí respectivamente sobre física del plasma en astrofísica y física espacial, y sobre sistemas dinámicos. Las herramientas que aprendí con ambos fueron muy importantes para mi desarrollo posterior. Continué mi doctorado bajo la dirección de Daniel Gómez, con quien aprendí a trabajar en aplicaciones de física espacial.

Más tarde, durante mi postdoc, trabajé bajo la supervisión de Annick Pouquet, David Montgomery y Darryl Holm. Cada uno de ellos tuvo roles centrales en mi formación. Darryl Holm me enseñó a apreciar la formalización matemática de la teoría de la turbulencia. David Montgomery, que es una figura central en el desarrollo de la teoría de dinámica de fluidos y de física del plasma, me enseñó los aspectos más teóricos de la física del plasma y de las aplicaciones más realistas de la turbulencia. Y Annick Pouquet, una figura destacada en el estudio de la turbulencia, sin lugar a duda fue

mi gran ejemplo para aprender a compartir generosamente lo que uno aprende, y a ampliar las aplicaciones de los estudios a temas de ciencias atmosféricas y geofísica. A lo largo de los años también tuve la suerte de colaborar con otros investigadores que me precedieron en el estudio de la turbulencia, como Marc Brachet (que realizó importantes contribuciones al estudio de singularidades en fluidos y al desarrollo de métodos numéricos para el estudio de la turbulencia), William Matthaeus (una figura central en el estudio de la turbulencia en física espacial), o Jean-Francois Pinton (responsable de algunas de las primeras mediciones lagrangianas realizadas en fluidos, y del primer experimento en obtener un dínamo en un flujo turbulento homogéneo).

### **¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Argentina tiene, dentro de la Asociación de Física Argentina, una división de fluidos y plasmas muy activa. Mucha de la investigación en fluidos tiene aplicaciones en las ingenierías, y la física del plasma en el país está históricamente vinculada a las aplicaciones espaciales o de descargas en gases.

### **¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Mis colaboraciones en el exterior son bastante amplias. Actualmente estoy colaborando con Marc Brachet y Alexandros Alexakis en École Normale Supérieure en París, con Martín Obligado en Grenoble, con Mickael Bourgoïn en École Normale Supérieure en Lyon, y con Raffaele Marino en École Centrale de Lyon, todas instituciones en Francia. También mantengo colaboraciones sostenidas en el tiempo con William Matthaeus, Annick Pouquet, John Clyne, y Mark Rast en Estados Unidos. Y con otros investigadores en Estados Unidos, Francia, Alemania e Italia entre otros países.

### **¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Sí, y es algo que me resulta muy gratificante. A lo largo de los años he trabajado con computadores científicos, astrónomos, meteorólogos, oceanógrafos, y matemáticos. Entre todas estas interacciones destaco una larga colaboración con John Clyne, con quien trabajé en temas de visualización de datos y visión artificial, y una reciente asesoría para el Servicio Meteorológico Nacional, donde también colaboro con investigadores en su grupo de investigación y desarrollo.

### **¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Mis resultados más relevantes están asociados al estudio de la turbulencia en diferentes contextos, que van desde la física espacial, la turbulencia en la atmósfera y los océanos, hasta la turbulencia en superfluidos. Mis dos trabajos más citados están relacionados con el desarrollo de métodos de visualización de flujos turbulentos, y de métodos numéricos para simular estos flujos. Ambos resultaron en el desarrollo de herramientas que hoy son usadas por comunidades científicas muy diversas, incluyendo la comunidad de ciencias atmosféricas para la visualización de pronósticos numéricos. También desarrollé, en colaboración con Alexandros Alexakis y Annick Pouquet, una herramienta teórica para caracterizar la interacción entre diferentes

escalas en flujos turbulentos, y teorías fenomenológicas para las leyes de escalas que siguen flujos turbulentos en diversas situaciones de interés en la atmósfera y los océanos. Más tarde, con Marc Brachet y Patricio Clark de Leoni presentamos una definición para la helicidad (una cantidad asociada a la complejidad topológica de flujos tridimensionales clásicos) aplicable a superfluidos y condensados de Bose-Einstein, y mostramos como esta cantidad se transfiere entre escalas y se disipa en estos sistemas. Finalmente, en los últimos años trabajé en el transporte de partículas por fluidos turbulentos, y en un *paper* reciente con Martín Obligado y colaboradores mostramos evidencia en experimentos y simulaciones de que estas partículas se acumulan en ciertas regiones preferenciales del flujo.

### **¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

La turbulencia es un problema que tiene múltiples aplicaciones prácticas, desde el mezclado de aerosoles y químicos en la atmósfera o de nutrientes en los océanos, hasta su aplicación en la llamada “turbulencia de aire claro” para la aviación. A modo de ejemplo, el problema de la acumulación preferencial de partículas en un flujo turbulento que recién mencioné tiene un impacto en la tasa de colisiones entre partículas. Como resultado de esto, también en la formación de gotas en las nubes. Y la tasa de formación de nubes, a su vez, es un parámetro importante en muchos modelos de pronóstico numérico y climático. Pero tal vez la aplicación práctica más inmediata tenga que ver con la investigación en técnicas de visualización de flujos complejos. John Clyne, en NCAR, ha liderado el desarrollo de un software (VAPOR, desarrollado por NCAR y por el Korea Institute of Science and Technology Information, y del que formé parte del comité de conducción) para la visualización de flujos atmosféricos y oceánicos. Este software ha tenido un impacto práctico en muchas áreas, y hoy se usa para visualizar datos de misiones espaciales y de pronósticos meteorológicos, entre otras aplicaciones.

## **Entrevista a la Dra. Silvina Martha Ponce Dawson Profesora Titular del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires – Investigadora Principal CONICET**

**Estimada, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Mis temas principales de investigación se enmarcan en el área de la física biológica. En particular estudio las formas que usan las células para comunicarse con otras o para interpretar los cambios que suceden en su entorno, lo que se llama señalización celular. Dentro de estas temáticas, comencé haciendo modelos matemáticos de procesos de

interés biológico y desarrollando métodos de análisis de observaciones experimentales y después incorporé una línea experimental a mi grupo de investigación en el área de la microscopía. No siempre trabajé en estos temas. Mi tesis de doctorado fue en plasmas astrofísicos. Después investigué en dinámica no lineal y caos, en formación de estructuras en sistemas alejados del equilibrio y desde ahí pasé a mirar problemas de interés en biología. Como parte de mis tareas relacionadas a disminuir la brecha de género en ciencias (ver respuesta a la pregunta siguiente) escribí también numerosos artículos sobre ciencia y género y edité también un libro sobre iniciativas desarrolladas en Latinoamérica en relación con la temática.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Hice mi tesis de Doctorado en la Universidad de Buenos Aires. Después hice una estancia post-doctoral en la Universidad de Maryland en EEUU, donde trabajé en dinámica no lineal y caos, y otra estancia post-doctoral en el Los Alamos National Laboratory de EEUU, donde trabajé principalmente en formación de estructuras en sistemas alejados del equilibrio. Volví a Argentina como profesora pero mantuve una interacción estrecha con grupos en Los Alamos y en otras instituciones del exterior, en particular, la Universidad de California, con quienes continué colaborando. En 2003-2004 volví a Los Alamos por un tiempo. Actualmente soy Profesora Titular en la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires (FCEN-UBA) e Investigadora Superior de CONICET. Soy también Investigadora Asociada Senior del International Centre for Theoretical Physics (ICTP) de Trieste, Italia e Investigadora Asociada del ICTP-SAIFR de San Pablo, Brasil. Llevo adelante mis investigaciones en el Departamento de Física de la FCEN-UBA. Quiero mencionar acá también que desde hace muchos años vengo realizando tareas para contribuir a disminuir la brecha de género en ciencias, en particular, en física. Comencé en 2001 como líder del grupo argentino de mujeres físicas frente a la Unión Internacional de Física Pura y Aplicada (IUPAP), en 2007 pasé a ser representante de Latinoamérica en el Grupo de Trabajo de Mujeres Físicas de la IUPAP, entre 2011 y 2014 fui la “Chair” de dicho Grupo de Trabajo donde continué actuando como “Past Chair” durante 3 años más. En 2017 fui nombrada Vicepresidenta de la IUPAP con funciones de “Gender Champion”, cargo que ejercí hasta fines de 2019 cuando pasé a desempeñarme como Presidenta Designada interina de la Unión, cargo que pasó a ser efectivo en octubre de 2021. En 2025 espero entonces pasar a ser Presidenta de la IUPAP, la primera persona de Latinoamérica en ocupar este cargo. A partir de mis actividades con la IUPAP nacieron colaboraciones con colegas de otros países latinoamericanos con las que hemos venido realizando talleres de formación en habilidades profesionales con perspectiva de género desde 2014 y con las que en 2021 creamos el colectivo Witral Ciencia. También a partir del trabajo en la IUPAP nacieron colaboraciones con personas de otras disciplinas, en particular, a través del Proyecto sobre Brecha de Género en Ciencias de cuyo comité ejecutivo formé parte y del posteriormente creado Comité para la Igualdad de Género en Ciencias.

### **¿Qué la llevó a interesarse por esa temática?**

La elección de mi carrera fue totalmente azarosa. Cuando decidí estudiar física no tenía ni idea de lo que significaba “trabajar en física”. Estoy muy contenta de haberla elegido. En lo que se refiere a los temas de investigación, siempre fueron motivados por la curiosidad, por las ganas de entender cómo funciona la naturaleza. Empecé con el cosmos y terminé ahora con las “unidades” de la vida. En lo que se refiere a mi involucramiento en la temática de ciencia y género, también fue casual. Una colega de Brasil me solicitó que recolectara información sobre la situación de las mujeres físicas en Argentina. Me encontré con resultados totalmente inesperados para mí en ese momento y, desde entonces, nunca dejé de estar involucrada en actividades para ayudar a reducir la brecha de género en ciencias.

### **¿Cuáles fueron los investigadores que la precedieron en este campo de estudio?**

Me referiré en esta respuesta principalmente al área de la física biológica. Sin embargo quiero mencionar a dos personas con las que tuve el enorme placer de trabajar y que fueron pioneras en sus investigaciones: Jim Yorke de la Universidad de Maryland que fue quien acuñó el nombre “caos” dentro de los sistemas dinámicos y Brosi Hasslacher que hizo aportes fundamentales a la física de los sistemas alejados del equilibrio. Pasando al tema de la física biológica, en los años 90 muchas personas que investigaban en física, en particular, en sistemas alejados del equilibrio y dinámica no lineal, empezaron a interesarse por preguntas relacionadas con la biología. En gran parte este interés estuvo motivado en el hecho de que el Proyecto del Genoma Humano estaba generando muchísimos datos que era necesario analizar. Muchas personas, no solo con formación en física, sino también en matemática o ciencias de la computación, comenzaron a trabajar en el análisis de estos datos y en tratar de elaborar modelos cuantitativos de procesos biológicos pasibles de ser contrastables con datos experimentales. En los 2000 nació el área conocida como “biología de sistemas” como expresión de este cambio en el modo de abordar los problemas de los sistemas biológicos. Si pensamos en pioneros en la elaboración de modelos matemáticos de procesos biológicos puedo mencionar a Alan Turing (por su famoso trabajo “The chemical basis of morphogenesis”) y a Alan Hodgkin y Andrew Huxley, quienes ganaron el Premio Nobel en Medicina y Fisiología por sus descubrimientos relacionados con los mecanismos que subyacen al funcionamiento eléctrico de las neuronas para lo que, entre otras cosas, elaboraron un modelo matemático que es ahora paradigmático. El área de la biología matemática ha tenido muchos/as investigadores/as que hicieron aportes interesantes a lo largo del sXX. Quiero recordar acá a Arthur Winfree, una persona muy generosa que vino a Buenos Aires a dar un curso para una escuela de posgrado organizada por el Departamento de Física de la FCEN-UBA poco antes de enfermarse y morir y cuyos aportes en biología matemática fueron de gran relevancia. Si me enfoco en esfuerzos más recientes por incorporar una descripción más cuantitativa y predictiva de los procesos que ocurren en distintos organismos vivos, me gustaría nombrar a Bette Korber y Alan Perelson del Laboratorio Nacional

de Los Alamos, Rob Phillips de CalTech, Bill Bialek de la Universidad de Princeton, Uri Alon del Instituto Weizmann y Alexander van Oudenaarden del Instituto Hubrecht y, entre personas de generaciones más recientes, a Aleksandra Walczak y Olga Dudko.

### **¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

La Argentina no tenía tradición en la temática de la física o la matemática biológicas. Sí hay, desde hace muchos años, una tradición en biofísica con personas formadas en bioquímica o medicina, pero la combinación de personas formadas en física o matemática que abordan problemas de la biología comenzó a crecer hace unos 25-30 años, simultáneamente al crecimiento de las investigaciones en física biológica en otros lugares del mundo. En tal sentido cabe destacar el programa BIOMAT iniciado desde el CONICET en 2002 para tratar de fomentar las investigaciones en biología matemática.

### **¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí. En lo que se refiere a mis investigaciones en el área de física biológica, colaboro principalmente con investigadores/as de EEUU, algunos/as con los/las que he venido interactuando desde hace muchos años y otros con los que comencé a interactuar más recientemente. Trabajé en el pasado con investigadores/as de Brasil, pero hace unos años que no estamos colaborando en ningún proyecto. He comenzado también a interactuar con investigadores/as de países europeos, en particular, de Alemania y Bélgica. Por otro lado, actualmente soy Asociada Senior del International Centre for Theoretical Physics (ICTP) de Trieste, Italia, con alguno de cuyos investigadores planeamos llevar adelante algunos proyectos en común. En lo que se refiere a mis actividades en el área de ciencia y género, interactúo con personas de todas partes del mundo, incluyendo Latinoamérica, África y Asia.

### **¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Interactúo con investigadores/as formados/as en biología y matemática en mis proyectos de investigación en física biológica. En lo que se refiere al área de ciencia y género, interactúo con investigadores/as de todas las disciplinas de ciencias exactas y naturales y también de ciencias sociales.

### **¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Dentro de los temas que abordé para mi Tesis de Doctorado creo que la contribución más importante fue el desarrollo de un método de simulación numérica de la ecuación no lineal que describe la turbulencia de Alfvén que, gracias a “explotar” algunas propiedades analíticas de la ecuación, permitió la observación de la formación de solitones usando una modesta computadora, observación que no se había logrado obtener con la computadora paralela más poderosa de ese momento. Dentro del área de los sistemas dinámicos, mis aportes más importantes fueron dentro de dos temáticas. Por un lado, haber encontrado un mecanismo sencillo que explica por qué

el aumento de un parámetro característico de un sistema que, en principio, debería llevar a un aumento de la complejidad de dicho sistema da lugar, en cambio, a una disminución del número de órbitas periódicas que contiene. Este fenómeno fue llamado “antimonotonicidad” y ha despertado gran interés en años recientes, en particular, por sus implicancias en aplicaciones tecnológicas. El otro tema de esta área donde hice un aporte significativo fue en relación al “shadowing” de órbitas caóticas: teniendo en cuenta que cualquier simulación numérica involucra un error y que el caos hace crecer a los errores, surge la pregunta de hasta qué punto una trayectoria caótica simulada numéricamente se corresponde con (permanece “cerca” de o “shadows” a) una trayectoria verdadera del sistema simulado. En particular, encontré que en sistemas con atractores donde coexisten órbitas periódicas con distinto número de direcciones inestables el “shadowing” puede perdurar durante tiempos muy cortos. Esto es muy relevante ya que tiene implicaciones no sólo para las simulaciones sino para el significado mismo de los modelos. En el área de formación de patrones en sistemas alejados del equilibrio dos contribuciones importantes que realicé fueron el desarrollo de un método muy eficiente de simulación numérica de sistemas de reacción-difusión basado en lattice Boltzmann y el haber encontrado que un modelo sencillo para la glucólisis (una de las rutas metabólicas más conservadas a lo largo de organismos diversos) puede dar lugar a “patterns de Turing” (distribuciones inhomogéneas pero estacionarias) en las concentraciones de ATP y ADP cuyo tamaño característico es menor que el de una célula típica. Este segundo resultado fue parte de la tesis de mi primer estudiante de doctorado, Damián Strier. Es importante notar que la existencia de los “patterns de Turing” en el modelo estudiado no se basa en suponer que el ATP y el ADP difunden a tasas distintas dentro de la célula (es más, las consideramos iguales) sino que es debida a la interacción del ATP y del ADP con las enzimas que catalizan la reacción de transformación de uno en otro. Si bien esto no prueba que dichos “patterns” existan, hasta donde yo sé, ésa fue la primera vez que se mostró su existencia en un modelo bioquímico utilizando valores realistas de los parámetros. Por otro lado, es interesante recordar que la motivación que llevó a Turing a encontrar sus “patterns” (en el paper “The chemical basis of morphogenesis”) fue justamente poder explicar qué mecanismos pueden dar lugar al surgimiento de estructura dentro de una célula. Uno de los temas principales en los que trabajé dentro del área de la física biológica ha sido el de las señales intracelulares de calcio. En tal sentido quiero destacar la elaboración del modelo del fire-diffuse-fire, el cual se volvió paradigmático dentro de la comunidad que modela la propagación de ondas intracelulares de calcio, las contribuciones para determinar las propiedades de “puffs” de calcio (elevaciones transitorias y localizadas del calcio intracelular) o para analizar imágenes de fluorescencia donde dichos eventos son observados o imágenes de fluorescencia en general. A partir de los estudios realizados para comprender el modo en que las señales de calcio se propagan dentro de las células pasé a interesarme en el transporte intracelular del calcio y de otras sustancias involucradas en las señales. Las investigaciones realizadas con distintos colaboradores me llevaron a concluir que cuando el transporte no es puramente difusivo, sino que combina difusión y reacciones,

la tasa a la que se desplaza, en promedio, un ión o un conjunto de iones indistinguibles del baño donde se mueven es diferente: el mensaje (el conjunto de iones) viaja más rápido que el mensajero (el ión individual). Este resultado tiene implicancias directas para la interpretación de los coeficientes de difusión que se obtienen a partir de experimentos ópticos. Usando estos resultados pudimos compatibilizar estimaciones aparentemente contradictorias entre sí del coeficiente de difusión del factor de transcripción, Bicoid, en embriones de mosca y avanzamos en la cuantificación del transporte de calcio en células intactas. Este último estudio nos llevó a concluir que el calcio difunde más rápido de lo que suponíamos previamente lo que, junto a los estudios que muestran que el co-agonista de los canales de calcio, IP3, también es atrapado durante su transporte, abre todo un nuevo panorama sobre la propagación de ondas de calcio. Quiero mencionar también los resultados recientes obtenidos con colaboradores de matemática y de bioquímica en un proyecto que iniciamos con la pandemia para estudiar la forma de ahorrar reactivos para hacer testeos mediante el pooling de muestras.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Por ahora no ha habido aplicaciones fuera del área de investigación básica, que yo sepa.

**Entrevista al Dr. Christian Schmiegelow.  
Profesor Adjunto del Departamento de Física de la Facultad de  
Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –  
Investigadora Adjunto CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Optica cuántica y física atómica. Investigo propiedades cuánticas de la interacción luz-materia y del movimiento de átomos atrapados. Trabajo en determinar de qué modo la estructura espacial de un haz determina de qué modo puede afectar el movimiento y los estados internos de uno o varios átomos. También trabajo en el estudio de la termodinámica a escala atómica, cerca del régimen cuántico. Desarrollamos métodos de enfriamiento, de transporte de calor y estudiamos máquinas térmicas compuestas de uno o pocos átomos.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Trabajo en el espacio conjunto del Departamento de Física, Exactas, UBA y el Instituto de Física de Buenos Aires CONICET. Anteriormente trabajé en la el Departamento de Física de la Universidad de Mainz y en la División de Láser de CITEDEF.

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

Varios docentes que me fueron sugiriendo lecturas que me acercaron a estos temas.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

Juan Pablo Paz, Miguel Larotonda y Ferdinand Schmit-Kaler.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Sí, en parte. Hay bastante del lado teórico y un poco del experimental. En la parte teórica hay varios grupos que trabajan en información cuántica y física atómica. Del lado experimental hay varios grupos que trabajen con fotónica cuántica, sin embargo, en física atómica, en el régimen cuántico, no hay otros.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí, principalmente con grupos en Europa.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

No.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

- La demostración que los fotones pueden contener momento angular orbital y que este momento angular está cuantizado.
- El desarrollo máquinas térmicas de un solo ion.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

- La utilización de haces estructurados podría mejorar la precisión de futuros relojes atómicos. A su vez, la comprensión de la termodinámica a nivel cuántico, podría dar lugar al desarrollo de nuevos dispositivos atómicos como sensores, actuadores, máquinas, etc.

**Entrevista a la Dra. Diana Carina Skigin  
Profesora Asociada del Departamento de Física de la Facultad de  
Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires –  
Investigadora Independiente CONICET**

**Estimada, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Desde el comienzo de mi carrera profesional me he dedicado al desarrollo de métodos electromagnéticos para el estudio de las propiedades ópticas de superficies y materiales complejos. Se investigaron diferentes efectos de interés que tienen lugar

en superficies microestructuradas tanto en materiales isótropos (dieléctricos, metales) como anisótropos. En 2008 he iniciado una nueva línea de investigación que consiste en el estudio de la respuesta óptica de estructuras fotónicas naturales y sus aplicaciones a la biomimética. El objetivo general de esta línea de investigación es estudiar las propiedades ópticas que aparecen debido a la microestructura particular que presentan ciertos tejidos animales y vegetales. Al ser iluminados por una onda electromagnética, se producen fenómenos como interferencias múltiples, difracción y scattering, lo cual produce respuestas particulares como colores metálicos e iridiscencia. Este tipo de color se conoce como color estructural, y recientemente ha atraído el interés de muchos campos de investigación, ya que se origina en las complejas interacciones entre la luz y las intrincadas microestructuras presentes en la naturaleza. Sus mecanismos son, en principio, de origen puramente físico, los cuales difieren considerablemente de los mecanismos de coloración ordinarios como los producidos por pigmentos, tinturas y metales, generados por la absorción selectiva de la luz. Las estructuras de este tipo que se observan en la naturaleza presentan tamaños típicos del orden de los micrones, o incluso de algunos nanómetros, lo cual hace imprescindible el uso de la teoría electromagnética rigurosa para la predicción de la radiación reflejada.

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA.

**¿Qué la llevó a interesarse por esa temática?**

Ya desde la realización de mi Doctorado comencé a incursionar en este campo, y fui descubriendo lo mucho que había por hacer en el área.

**¿Cuáles fueron los investigadores que la precedieron en este campo de estudio?**

El Dr. Ricardo Depine, mi director de Tesis de Licenciatura y de Tesis Doctoral, fue pionero en el país en el desarrollo de métodos electromagnéticos rigurosos para materiales complejos.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

Los primeros trabajos argentinos en esta temática son de fines de los 80s.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Sí, a lo largo de mi carrera he interactuado y colaborado con investigadores de muchos países, entre los cuales se encuentran España, Francia, Alemania, Estados Unidos y México.

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Sí, fundamentalmente con biólogos e ingenieros.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

Dentro de los aportes realizados en la primera etapa de mi carrera, se puede mencionar la predicción de las resonancias de fase tanto en superficies metálicas con un número

finito de surcos como en redes de difracción compuestas, y su posterior comprobación experimental.

Los aportes realizados en la línea de estructuras fotónicas naturales cubren un espectro muy amplio: desde el desarrollo de métodos electromagnéticos adecuados para analizar estructuras fotónicas complejas como la especie de hongo *Diachea leucopodia* de la familia Myxomycetes, hasta el estudio detallado del origen de los efectos singulares de color observados en diversas especies como el escarabajo *Ceroglossus suturalis* o las plumas de aves de ciertas especies del género Thraupidae. También se ha incursionado en efectos electromagnéticos fuera del espectro visible, como la protección frente a la radiación UV que presentan ciertos Euglenoideos, microorganismos unicelulares que habitan cuerpos de agua. Todos los resultados originales obtenidos a lo largo de mi carrera están respaldados por publicaciones internacionales en revistas de la especialidad con referato. Las mismas se pueden consultar en Google Scholar:

<https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=iSXAg4kAAAAJ>

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Materiales con color sintonizable, dispositivos anti-falsificación de documentos, pantallas con propiedades de color inusuales, recubrimientos ópticos autolimpiantes, sensores de vapor y de gases y celdas solares eficientes.

### **Entrevista al Dr. Hernán Gustavo Solari Profesor Asociado del Departamento de Física de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires – Investigador Principal CONICET**

**Estimado, por favor, explíquenos brevemente cuál es la temática de investigación en la que se encuentra trabajando actualmente, o que desarrolló a lo largo de su historia profesional.**

Historia:

- a. Física nuclear de energías medias (1980-1987)
- b. Dinámica no-lineal (1986- 2002)
- c. Eco-epidemiología matemática (1998- continúa)
- d. Sistemas complejos (2003-continúa)
- e. Epistemología, sociología e historia de la ciencia, con énfasis en sistemas complejos y física clásica (2010-continúa)

**¿En qué institución/es la desarrolla o desarrolló?**

Universidad de Buenos Aires (1980-1985, 1991- ...); Drexel University (1986-1990) y CONICET (1982-...)

**¿Qué lo llevó a interesarse por esa temática?**

- (a) La oportunidad de hacer un doctorado.
- (b) Investigaciones experimentales en laseres llevadas adelante por Jorge Tredicce.
- (c-d) La crisis de 2002 me llevó a dejar el “carrerismo” y comenzar a trabajar en problemas con impacto social como los epidémicos, particularmente el dengue. Una decisión de consciencia.
- (d-e) Cuando se estudia lo real tal como se nos presenta surge la pregunta por sus múltiples aspectos y su interrelación, y luego con el fundamento de la ciencia.

**¿Cuáles fueron los investigadores que lo precedieron en este campo de estudio?**

- (a) Enorme cantidad. Se trataba de un campo firmemente establecido en Argentina y el mundo.
- (b) En Argentina hubo varios inicios en paralelo por los mismos años, pero desconectados entre sí.
- (c) Cuando empezamos con la colaboración con biólogos solo existían los trabajos de D Focks (USA) y una amplia bibliografía inespecífica.
- (d-e) Fuimos pioneros en el mundo en estas investigaciones.

**¿Tiene la Argentina una tradición de investigación en la temática?**

- (a) Sí.
- (b) Actualmente sí.
- (d-e) Aún no.

**¿Interactúa con grupos de investigación del exterior?**

Grupos en: Suecia\*, USA, Francia\*, Italia, España, Brasil\*, y Paraguay\*. Según el periodo y la temática (\* para los actuales).

**¿Interactúa con investigadores de otras disciplinas?**

Fuertemente con ecólogos, otros biólogos y filósofos. También con veterinarios y agrónomos.

**¿Cuáles son los resultados más importantes que produjo su investigación?**

- (a) Desarrollo de la forma correcta de la aproximación semiclásica de estados coherente, conocida ahora como “fase de Solari-Kochetov”.
- (b) Introducción y desarrollo del análisis topológico en sistemas caóticos de baja dimensionalidad (típicamente laseres).
- (c) Los modelos desarrollados para el mosquito *Aedes aegypti* son en la actualidad los modelos de referencia en el tema.

Los restantes estudios esperan el juicio del tiempo para poder decir.

**¿Podría mencionar alguna aplicación práctica de los mismos?**

Los modelos eco-epidemiológicos nos han permitido tareas de asesoramiento en decisiones de salud pública y relacionadas.

Los modelos para el manejo de la mastitis de la vaca lechera fueron implementados y puestos a disposición de los profesionales para la evaluación de los tratamientos veterinarios (registro de propiedad intelectual de la UNRC).

**Le agradecería cualquier otro comentario que desee realizar.**

El área de “física biológica” del Depto de Física de la UBA (e IFIBA-CONICET) representa hoy un tercio del departamento. Que yo recuerde, fuimos sus pioneros: Lilia Romanelli, Silvina Ponce-Dawson y yo, incorporándose posteriormente Gabriel Mindlin que se formara en Drexel University (fui su codirector allí). Posteriormente recibió muchos otros aportes independientes de los pioneros.

**Nota:** consultado el Dr. Solari sobre su interés por orientar la investigación científica hacia problemáticas sociales respondió con una interesante frase de W. von Humboldt, en “The limits of state action”:

*“El hombre que frecuentemente deja la conducción de sus acciones a la guía externa y al control, gradualmente adquiere un espíritu de sacrificio de la poca espontaneidad que queda aún en él. En su fantasía, descarga su ansiedad que ve transferida a otras manos, le parece a él hacer lo suficiente cuando mira por su guía y sigue el curso instruido por quienes lo dirigen. Entonces, las nociones de correcto e incorrecto, de mérito o demérito, se vuelven confusas. La idea de lo correcto no lo inspira más y la de lo erróneo lo asalta con menos violencia y menos frecuencia, dado que fácilmente puede endosar sus falencias a la posición que ocupa y dejar la responsabilidad a aquellos que lo formaron.”*

Y luego el Dr. Solari agregó: “2002, el estado parece disolverse, la responsabilidad por el uso de mis capacidades vuelve a mí y ya no se retirará más. “Hacer carrera en ciencias” que es todo lo que propone el estado no alcanza. Uno debe responsabilizarse por la calidad del trabajo (y no delegar en la evaluación intra-comunitaria y/o institucional) y la utilidad que pueda tener lo estudiado para el pueblo que paga los gastos.”

## EXDIRECTORES DE LOS ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA (\*)

Ing Pedro Pico	Dr Valentín Balbín
Ing Luis A Huergo	Ing Luis A Viglione
Dr Carlos Berg	Dr Carlos María Morales
Dr Estanislao Zeballos	Ing Jorge Declout
Ing Eduardo Aguirre	Ing Miguel Iturbe
Ing Carlos Bunge	Ing Domingo Nocett
Dr Angel Gallardo	Ing Santiago Barabino
Dr Félix F Outes	Dr Eduardo Carette
Dr Horacio Damianovich	Dr Claro D Dassen
Ing Julio R Castiñeiras	Ing Alberto Urcelay
Ing Emilio Rebuelto	Dr Reinaldo Vanossi
Ing José S Gandolfo	Dr Andrés O M Stoppani
Cap de Navío Emilio L Díaz	Dr Eduardo A Castro
Dr Pedro Cattáneo	Dr Alfredo G Kohn Loncarica
Ing Guillermo White	

(\*) Desde 1876 a 1902: Presidente de la Comisión Redactora

## PRESIDENTES HONORARIOS DE LA SOCIEDAD CIENTIFICA ARGENTINA

- 1.- Prof Dr Andrés O M Stoppani (1915-2003)
- 2.- Dr Carlos Pedro Blaquier (1927)

Secretarios Administrativos: Natalia Lentino y Pablo A Riquelme

## INSTITUTOS DE LA SCA

Coordinador: Dr Norberto Sarubinsky Grafin

Directores

Instituto de Historia de la Ciencia: Prof Norma Isabel Sánchez  
de Energías Renovables: Dr Raúl Vaccaro  
de Investigaciones Jungianas: Dr Antonio Las Heras  
de Tecnología de los Alimentos: Lic Adriana Bosch  
de Investigación e Innovación Productiva: Ing Juan José Sallaber  
Sánchez Labrador: Dr José Sellés Martínez  
de Comunicaciones Digitales: Ing Enrique Draier  
de Investigación del HACRE: Dr Rodolfo Pedro Rothlin  
del Boletín Electrónico: Lic Eduardo M Lapagne  
de Ciencia para la Innovación: Dr Ricardo López

## INSTRUCCIONES PARA LOS AUTORES

Las siguientes *Instrucciones para los autores* constituyen el reglamento de publicaciones de los ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA.

### 1) Generales

Los ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA constituyen una revista multidisciplinaria, fundada en 1876, que considera para su publicación trabajos de cualquier área de la ciencia.

Los originales deben ser enviados al director, a Av. Santa Fe 1145, Buenos Aires, CP.:1059, República Argentina, en tres copias en papel, a dos espacios, tamaño carta, acompañados de su correspondiente CD. Los CD deberán estar rotulados con el nombre del autor o del primer autor si son varios haciendo constar el sistema computacional usado para grabar el mismo, el tipo y versión del procesador utilizado y nombres de los archivos.

Los autores serán notificados de inmediato de la recepción de sus originales. Dicha notificación no implica la aceptación del trabajo. Los originales son enviados a uno o más árbitros, quienes asesoran al director y a la comisión de redacción acerca de la aceptación, rechazo o sugerencia de modificaciones. La decisión final respecto a la publicación o no del trabajo es solamente responsabilidad del director.

Los originales remitidos para su publicación en los ANALES deben ser inéditos y no hallarse en análisis para su publicación en otra revista o cualquier otro medio editorial.

Todo trabajo aceptado en los ANALES no podrá ser publicado en otro medio gráfico sin previo consentimiento de la dirección.

Los ANALES se reservan el derecho de rechazar sin más trámite a aquellos originales que no se ajusten a las normas expuestas en la presente guía de *Instrucciones para los autores*.

Los ANALES constan de las siguientes secciones:

- artículos de investigación
- notas breves de investigación
- artículos de revisión y/o actualización
- editoriales
- recensiones
- cartas a la dirección
- informaciones del quehacer de la SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA
- informaciones científicas y académicas de interés general

Los autores, al remitir sus trabajos, deberán hacer constar la sección, a la que según su juicio, corresponden sus aportes y consignar claramente la dirección postal, teléfono, fax y dirección electrónica (si la tuviere) a la cual se remitirá toda información concerniente al original.

### 2) Originales

Los ANALES DE LA SOCIEDAD CIENTÍFICA ARGENTINA publicarán trabajos escritos en los idiomas: español, francés, inglés y portugués.

Los originales deberán respetar la siguiente estructura:

1ª página:

- Título del trabajo: no mayor de veinticinco (25) palabras
- Nómina de los autores, institución o instituciones a la que pertenecen cada uno de ellos.
- Institución en la que se llevó a cabo el trabajo en el caso que difiera de la institución de pertenencia.
- Domicilio postal y electrónico (si lo tuviere)

2ª página:

- Resumen en idioma español de no más de 400 palabras, con su correspondiente traducción al inglés. La traducción al inglés deberá incluir el título del trabajo cuando éste haya sido escrito en español y viceversa, si el trabajo se halla escrito en inglés el resumen en español deberá incluir la traducción del título.
- La inclusión de resúmenes en francés y portugués es facultativa de los autores.
- Palabras claves para el registro bibliográfico e inserción en bases de datos, en español e inglés.

En las páginas siguientes se incluirán las secciones Introducción, Materiales y Métodos, Resultados, Discusión, Agradecimientos y Referencias. A continuación se agregarán las tablas con sus títulos, leyendas de las figuras y gráficos y finalmente las figuras y gráficos preparados como se indica más abajo.

El tipeado del manuscrito deberá hacerse a doble espacio en papel tamaño carta (aprox. 21 cm x 29cm), dejando 3 cm de márgenes izquierdo, superior e inferior, debiéndose numerar secuencialmente todas las páginas.

No se aceptará la inserción de notas de pie de página. Cuando ello sea necesario, se deberá incluir tales notas en el mismo texto.

Se recomienda emplear el Sistema Métrico Decimal de medidas y las abreviaturas universales estándar.

Solo se permitirá el empleo del Sistema Internacional de Unidades para las medidas.

Como regla general no se deberá repetir la misma información en tablas, figuras y texto. Salvo en casos especiales que justifiquen alguna excepción se aceptará presentar esencialmente la misma la información en dos formas simultáneas.

Cada sección se numerará consecutivamente, recomendándose no emplear subsecciones.

### 3) Tablas

Las tablas deben prepararse en hojas aparte y a doble espacio. Las mismas incluirán un título suficientemente aclaratorio de su contenido y se indicarán en el texto su ubicación, señalándolo con un lápiz sobre el margen izquierdo.

Cada tabla se numerará consecutivamente con números arábigos. Solo se deberá incluir en las tablas información significativa, debiéndose evitar todo dato accesorio y/o que pueda ser mejor informado en el mismo texto del trabajo.

Cada tabla se tipeará en hoja separada.

Los títulos de las filas y las columnas deben ser lo suficientemente explícitos y consistentes, pero al mismo tiempo se recomienda concisión en su preparación.

### 4) Ilustraciones

Las ilustraciones (gráficos y fotografías) deberán ser de suficiente calidad tal que permitan una adecuada reproducción debiéndose tener en cuenta que la reproducción directa de los mismos conlleva una relación entre 1:2 y 1:3. Todas las ilustraciones se numerarán consecutivamente y en el reverso de las mismas se indicarán con lápiz blando el nombre de los autores, el número de la misma y cuando corresponda la orientación para su pertinente impresión.

Los títulos de las ilustraciones se tipearán en hoja aparte, debiéndose denotar el posicionado de las mismas en el texto por medio de una indicación con lápiz en el margen izquierdo.

Las dimensiones de las ilustraciones no deberán exceder las de las hojas del manuscrito y no se deberán doblar.

Los gráficos se dibujarán con tinta china sobre papel vegetal de buena calidad y por los mismos medios se incluirán los símbolos, letras y números correspondientes. No se deberá tipear símbolo, letra o número alguno en los gráficos y fotografías.

Enviar un original y dos copias de cada ilustración. Las fotografías solo se podrán enviar en blanco y negro, ya que no es posible imprimir fotografías en otros colores.

Cada ilustración se presentará en hoja separada.

### 5) Referencias

Los ANALES adoptan el sistema de referencias por orden, el cual consiste en citar los trabajos en el orden que aparecen por medio de número cardinal correspondiente. Los libros se indicarán en la lista de referencias citando el/los autor/es, título, edición, editorial, ciudad, año y página inicial. Para indicar capítulo de libro se añadirá a lo anterior el título del mismo y el nombre del editor.

El listado de referencias se tipeará en hoja separada y a doble espacio. Se recomienda especialmente a los autores emplear las abreviaturas estándar sugeridas por las propias fuentes.

Solo se admitirán citas de publicaciones válidas y asequibles a los lectores por los medios normales debiéndose evitar recurrir a informes personales, tesis, monografías, trabajos en prensa, etc., de circulación restringida.

Lo que sigue son algunos ejemplos de citas bibliográficas en la lista de referencia:

*Publicación periódica:* A. M. Sierra y F. S. Gonzalez, J. Chem. Phys. 63 (1977) 512.

*Libro:* R. A. Day, How to write and publish a Scientific paper, Second Edition, ISI Press, Philadelphia, 1983, p 35.

*Capítulo del libro:* Z. Kaszab, Family Tenebrionidae en W. Wittmer and Buttiper (Eds.) Famma of Saudi Arabia, Ciba-Geigy, Basel, 1981, p3-15.

*Conferencia o Simposio:* A. Ernest, Energy conservation measures in Kuwait buildings. Proceedings of the First Symposium on Thermal Insulation in the Gulf States, Kuwait Institute for Scientific Research, Kuwait, 1975, p 151.

Se recomienda revisar cuidadosamente las citas en el texto y la lista de referencias a los efectos de evitar inconsistencias y/u omisiones.

*Pruebas:* todo artículo deberá ser revisado en la forma de prueba de galera por el autor indicado en la carta de presentación del trabajo, la cual se devolverá debidamente corregida a las 72 horas de recibida a la redacción de los ANALES. No se admitirá en forma alguna alteración sustancial del texto y en caso imprescindible se procederá a la inclusión al final del trabajo de lo que correspondiera bajo el título de " Nota agregada en la prueba".